



SKRIPSI - ME 141501

**STUDI NUMERIK ALIRAN FLUIDA PIPA
EXPANSION (U-LOOP) PADA JALUR PIPA
STEAM MENUJU KE *INLET TURBINE -
GENERATOR***

AGUS PURNOMO
NRP. 4213 106 017

Dosen Pembimbing
Sutopo Purwono F., ST.,M.Eng.,Ph.D.
Ir. Dwi Priyanta, MSE.

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - ME 141501

**NUMERICAL STUDY OF FLUID FLOW IN
EXPANSION PIPE (U-LOOP) STEAMLINE FOR
INLET TURBINE - GENERATOR**

AGUS PURNOMO
NRP. 4213 106 017

Supervisor
Sutopo Purwono F., ST.,M.Eng.,Ph.D.
Ir. Dwi Priyanta, MSE.

Departement of Marine Engineering
Faculty of Marine Tecknology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN
STUDI NUMERIK ALIRAN FLUIDA PIPA *EXPANSION*
(U-LOOP) PADA PIPA STEAM MENUJU KE INLET
TURBINE - GENERATOR

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

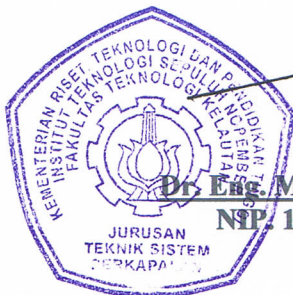
Pada

Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Agus Purnomo
NRP. 4213 106 017

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.
NRP. 1977 0802 2008 01 1007

SURABAYA
JANUARI 2016

LEMBAR PENGESAHAN
STUDI NUMERIK ALIRAN FLUIDA PIPA *EXPANSION*
***(U-LOOP)* PADA PIPA STEAM MENUJU KE INLET**
TURBINE - GENERATOR

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

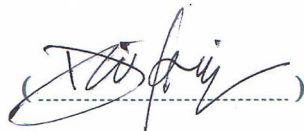
Agus Purnomo
NRP. 4213 106 017

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :

Sutopo Purwono F., ST.,M.Eng.,Ph.D.
NIP. 1975 1006 2002 12 1003



Ir. Dwi Priyanta, MSE.
NIP. 1968 0703 1994 02 1003



SURABAYA
JANUARI 2016

STUDI NUMERIK ALIRAN FLUIDA PIPA *EXPANSION*
(*U-LOOP*) PADA JALUR PIPA STEAM
MENUJU *INLET* TURBINE

Nama Mahasiswa : Agus Purnomo
NRP : 4213106017
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Sutopo Purwono F.,ST.,M.Eng.,
Ph.D.
2. Ir. Dwi Priyanta, MSE.

ABSTRAK

Pipa *expansion (U-loop)* merupakan alternatif yang digunakan untuk menurunkan dan menjaga tekanan fluida pada kondisi desain. Penurunan tekanan fluida ini mengakibatkan terjadi beberapa fenomena pada instalasi pipa *expansion (U-loop)* antara lain tegangan, serta aliran fluida. Studi ini ditujukan untuk mengevaluasi karakteristik aliran fluida yang terjadi didalam instalasi pipa *expansion (U-loop)*. Studi ini dilakukan secara pemodelan numerik dengan memodelkan bentuk geometri exsisting pada instalasi pipa *expansion (U-loop)* dengan material carbon steel berdiameter pipa 10" Sch. 80 standart ANSI B36.10. Studi ini dibantu dengan program lunak ANSYS 11 yang berbasis *finite element methode*. Dari hasil simulasi yang dilakukan didapatkan aliran turbulen yang terjadi pada elbow dapat menyebabkan getaran pipa, akibat aliran fluida tersebut tegangan yang terjadi masih dibawah batas maksimum yang diijinkan sebesar 42,3 Mpa. Sehingga adanya sistem pipa expansion (*U-loop*) dapat dijadikan pilihan alternatif yang lebih efisien untuk meningkatkan serta menjaga integritas sistem secara keseluruhan.

Kata Kunci ; Pipa Expansion (*U-loop*), Aliran Fluida,
Computational Fluid Dynamics (CFD).

NUMERICAL STUDY FLUID FLOW OF EXPANSION PIPE (U-LOOP) AT STEAMLINE PIPE TO INLET TURBINE

Student Name : Agus Purnomo
NRP : 4213106017
Departement : Teknik Sistem Perkapalan
Supervisor : 1. Sutopo Purwono F.,ST.,M.Eng.,
Ph.D.
2. Ir. Dwi Priyanta, MSE.

ABSTRACT

Pipe expansion (U-loop) is an alternative that is used to lower and maintain the fluid pressure at design conditions. This resulted in a decrease in fluid pressure occurs several phenomena on the installation of the pipe expansion (U-loop) among others stress and fluid flow. This study aimed to evaluate the characteristics of the fluid flow that occurs in the installation of the pipe expansion (U-loop). The study was carried out numerical modeling by modeling the geometrical form exsisting on the installation of the pipe expansion (U-loop) with material of carbon steel diameter pipe 10 "Sch. 80 ANSI B36.10 standards. the study was supported by the ANSYS software program 11 based finite element method. From the results of the simulation obtained turbulent flow that occurs in the elbow can cause vibration of the pipe , due to the fluid flow is still below the voltage that occurs the maximum allowable limit of 42.3 Mpa . So that the pipe system expansion (U - loops) can be used as a more efficient alternative options to enhance and maintain the integrity of the overall system

Keyword ; *Pipe Expansion (U-loop), Fluid Flow, Computational Fluid Dynamics (CFD).*

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir dengan judul “**Studi Numerik Aliran Fluida Pipa Expansion (U - Loop) pada Jalur pipa Steam menuju ke Inlet Turbine - Generator**” untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS), Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan. Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada baginda nabi Muhammad Sallallahu Alaihi Wasallam.

Dalam penulisan laporan ini penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, petunjuk, saran serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, Sumarno dan Warti, Saudari tersayang, Feny Novayati, yang senantiasa memberikan dorongan material dan spiritual, terima kasih atas doa-doa yang tak pernah putus dan tak ternilai harganya.
2. Bapak Sutopo Purwono Fitri ST., M.Eng., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing pertama dan kepala Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem yang telah memberikan kesempatan atas waktu bimbingan, bantuan, arahan, masukan dan nasehat selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Dwi Priyanta, MSE. selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah memberikan banyak dorongan, masukan dan fasilitas agar terselasaikannya Tugas Akhir ini.
4. Bapak Irfan Syarif Arief, ST.,MT., selaku dosen Wali selama menempuh pendidikan Strata-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, yang telah memberikan bimbingan, bantuan, arahan, masukan dan nasehat selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi

Kelautan ITS, yang telah memberikan kesempatan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.

6. Bapak DR. Eng. Trika Pitana ST., M.Sc., selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS, yang telah memberikan kesempatan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
7. Sahabat sejati arek-arek LJ genap 2013 Teknik Sistem Perkapalan yang selalu memberi dukungan dan semangat.
8. Seluruh Civitas Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem, terima kasih atas dukungan dan bantuannya yang telah diberikan untuk pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Seluruh civitas akademika Teknik Sistem Perkapalan yang sedikit banyak membantu memberikan informasi selama pengerjaan Tugas Akhir.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah ikut memberi ide dan masukan sehingga terselesaikannya laporan ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu adanya kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan penulisan selanjutnya.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan dapat menjadi tambahan ilmu dan pedoman untuk melakukan penulisan selanjutnya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	
<i>ABSTRACT</i>	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Skripsi	2
1.5. Manfaat Skripsi	2
BAB II	3
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Umum	3
2.2. Standart Code Sistem Perpipaan	3
2.3. Jenis Pipa Expansion	4
2.4. Dasar Teori	5
2.4.1. Fluida	5
2.4.1.1. Definisi Fluida	5
2.4.1.2. Jenis dan Karakteristik Fluida	6
2.4.1.3. Analisa Aliran ρ Pipa dengan Penampang Bundar	7
2.4.2. Getaran	8
2.4.2.1. Definisi Getaran	8
2.4.2.2. Getaran pada Pipa	9
2.4.2.3. Metode Analisa Getaran pada Pipa	11
2.4.2.3.1. Metode Likelihood of Failure (MTD Ltd)	11

2.4.2.3.2. Metode Displacement (ANSI/ASME OM-3)	12
2.4.3. Tegangan Pipa	12
2.4.3.1. Tegangan Normal	12
2.4.3.2. Tegangan Geser	14
2.4.3.3. Tegangan Von Misses	14
2.4.3.4. Tegangan Thermal	15
2.4.4. Flow Induced Vibration (FIV)	15
2.4.5. Computetational Fluid Dynamics (CFD)	15
2.5. Pipa Support	16
2.6. Kriteria Desain yang Diijinkan	19
BAB III	21
METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Umum	21
3.2. Metode Penelitian	21
3.3. Studi Literatur	21
3.4. Pengumpulan dan Pengolahan Data	22
3.4.1. Data	22
3.5. Perhitungan Awal (Model Existing)	23
3.6. Pemodelan dan Simulasi Aliran Fluida Menggunakan ANSYS Fluent	23
3.6.1. Data Proses dan Data Struktur	23
3.6.2. Pre-Processor	25
3.6.3. Setting Solver (Set-up)	26
3.6.4. Post-Processor (Result)	27
3.6.5. Hasil Pemodelan dan Simulasi Aliran Fluida	28
3.7. Pembahasan	29
3.8. Kesimpulan dan Saran	29
3.9. Flowchart Metodologi Penelitian	30
3.10. Flowchart Pemodelan dan Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis	32

BAB IV	33
PEMBAHASAN	33
4.1. Umum	33
4.2. Penentuan Parameter	33
4.3. Proses Analisa Simulasi Pemodelan	34
4.3.1. Penggambaran Geometry	34
4.3.2. Proses Meshing Geometry	37
4.3.3. Analisa Fluida dengan Ansys Fluent	38
4.3.4. Analisa Statis dengan Ansys Static Structure	44
4.3.5. Analisa LOF Method	45
4.3.6. Analisa Dinamis SBC (Ansys Multiphysic)	46
4.3.6.1. Analisa Allowable Pressure	46
4.3.6.2. Analisa Tegangan Von Misses	47
BAB V	53
KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1. Kesimpulan	53
5.2. Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	
BIOGRAFI PENULIS	

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Sistem Perpipaan Rangkaian U-Loop (referensi) ..	3
Gambar 2.2.	Jenis Pipa Expansion	5
Gambar 2.3.	Perbandingan deformasi dari benda padat dan fluida diakibatkan tegangan geser	5
Gambar 2.4.	Aliran Laminer dan Turbulen dari Air Kran, (a) Aliran Laminer, (b) Aliran Transisi, (c) Aliran Turbulen	6
Gambar 2.5.	Volume kendali aliran pada pipa miring (Sumber : White, Frank M. 1994, 305)	7
Gambar 2.6.	Deskripsi Vibrasi Sederhana	9
Gambar 2.7.	Perbandingan Amplitudo dan Frekuensi	10
Gambar 2.8.	Pembebanan aksial pada batang tubular	13
Gambar 3.1.	Tampilan Geometri Model <i>Existing</i> Pipa Expansion Dengan Software <i>Autodesk Inventor</i>	25
Gambar 3.2.	Tampilan Meshing Geometri Model Existing Pipa Expansion Dengan Software <i>Workbench CFD Fluent</i>	26
Gambar 3.3.	Proses setup	27
Gambar 3.4.	Result/Hasil Distribusi Tekanan Aliran Fluida ..	28
Gambar 3.5.	Result/Hasil Pola Aliran Fluida	28
Gambar 3.6.	Flowchart Metodologi Penelitian (1/2)	30
Gambar 3.7.	Flowchart Metodologi Penelitian (2/2)	31
Gambar 3.8.	Flowchart Pemodelan dan Simulasi Aliran Fluida	32
Gambar 4.1.	Pembuatan geometry pemodelan	35
Gambar 4.2.	Identifikasi dan penamaan geometry (Inlet fluida)	35

Gambar 4.3. Identifikasi dan penamaan geometry (Outlet fluida)	36
Gambar 4.4. Visualisasi solid geometry	37
Gambar 4.5. Meshing objek pada Ansys Fluent	38
Gambar 4.6. Kontur aliran fluida pipa expansion	39
Gambar 4.7. Siklus aliran fluida pipa expansion	40
Gambar 4.8. Visualisasi distribusi tekanan fluida pipa expansion	41
Gambar 4.9. Visualisasi Grafik perbandingan kec.dengan pressure pada bagian elbow	42
Gambar 4.10. Gambar jalur pipa steam dari steam header ke inlet turbine	43
Gambar 4.11. Visualisasi <i>equivalent stress</i>	48
Gambar 4.12. Visualisasi <i>equivalent stress strain</i>	49
Gambar 4.13. Visualisasi <i>total deformation</i>	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Jarak maksimum antar tumpuan pipa	17
Tabel 4.1.	Hasil fluid pressure terhadap load flowrates CFD Fluent	43
Tabel 4.2.	Hasil Static Stress Analysis	44
Tabel 4.3.	Hasil LOF untuk flowline steam	45
Tabel 4.4.	Hasil Tegangan Von Misses untuk flowline steam	47

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem perpipaan merupakan salah satu alternatif pilihan yang sering digunakan untuk mendistribusikan sebuah benda (cair, gas, maupun benda padat) dari suatu tempat ke tempat lainnya. Oleh karena itu dalam pemelihan dan penentuan komponen sistem perpipaan menjadi sangat penting. Salah satunya penggunaan sistem pipa *expansion (U-loop)* merupakan alternatif yang digunakan untuk menjaga serta dapat pula menurunkan tekanan fluida pada kondisi desain. Penurunan tekanan fluida ini mengakibatkan terjadi beberapa fenomena pada instalasi pipa *expansion (U-loop)* antara lain tegangan, serta aliran fluida. Sehingga akibat adanya aliran yang melewati pipa *expansion (U-loop)* dikhawatirkan akan mengurangi *lifetime* yang dapat berdampak pada seluruh sistem proses yang direncanakan.

Sebagai parameter penelitian studi pada pipa *expansion (U-loop)* digunakan aturan/code standart, baik yang digunakan di nasional maupun international. Peraturan/code standart tersebut antara lain : ASME B31.3 *Piping Proses* yang didalamnya mengatur kriteria-kriteria dalam perencanaan dalam sebuah sistem (khususnya pipa *expansion (U-loop)*) sehingga dapat mencegah terjadinya penurunan *lifetime* dari sistem tersebut.

Pada penelitian ini, penulis akan menganalisa karakteristik aliran fluida (gas steam) yang distribusikan melewati bagian dalam pipa *expansion (U-loop)* dengan menggunakan bantuan sistem komputer dengan teknologi *computational fluid dynamics (CFD)* berbasis *FEM (Finite Element Metode)* yang ada juga terdapat pada program ANSYS. Disamping itu juga diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat dijadikan sebagai pertimbangan untuk mengetahui distribusi tegangan stress yang timbul.

1.2. Rumusan Permasalahan

Permasalahan yang terjadi adalah sebagai berikut :

- Terjadinya getaran akibat overstress pada instalasi pipa *expansion (U-loop)*
- Bagaimana distribusi aliran fluida didalam pipa *expansion (U-loop)*

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini yang akan dijadikan batasan permasalahan antara lain :

- Dalam analisa model pipa *expansion (U-loop)* pada tugas akhir ini digunakan standart ASME B31.3 *Piping Proses*.
- Geometri pipa *expansion (U-loop) existing* menggunakan pipa diameter 10" schedule 80 standart ANSI B36.10
- Faktor alam tidak diperhitungkan (Gempa, dll)

1.4. Tujuan Skripsi

Dengan adanya perumusan masalah diatas, penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran fluida pada instalai pipa *expansion U-loop* dari beberapa parameter : *Vortex flow Characteristic, Pressure Drop, Temperatur difference, Wall Pressure, Vibration intensity, Load Factor*.

1.5. Manfaat Skripsi

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam meningkatkan integritas dari perencanaan instalasi pipa off-shore ataupun instalasi pipa on-shore yang lebih efisien.
- Dapat mengantisipasi atau menghindari terjadinya kegagalan pada sebuah sistem instalasi pipa khususnya pada instalasi pipe *expansion (U-loop)*.
- Dapat dijadikan alternatif untuk menunjang integritas sistem perpipaan dikarenakan lebih ekonomis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Sistem Perpipaan adalah suatu sistem rangkaian yang terdiri dari pipa dan fitting. Pada umumnya sistem perpipaan digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lainnya guna mendukung bekerjanya suatu sistem yang lebih kompleks.



Gambar 2.1. Sistem Perpipaan Rangkaian U-Loop (referensi)

Dikarenakan masih efisiennya penggunaan sistem perpipaan terutama pada instalasi yang panjang sehingga hal tersebut juga perlu diperhatikan. Penambahan pressure yang terjadi pada instalasi perpipaan pada jalur yang cukup jauh maka perlu diberikan suatu sistem agar menjaga sistem tersebut dalam kondisi design.

2.2. Standart Code Sistem Perpipaan

Suatu sistem perpipaan harus memperhatikan kelayakan rancangan baik dari segi ekonomis maupun dari segi mekanis. Kelayakan dari segi ekonomis suatu rancangan perpipaan sangat tergantung pada finansial perusahaan yang memiliki sistem perpipaan tersebut, namun tetap didasari dengan *code* dan standart yang berlaku, guna menjamin keamanan saat sistem perpipaan tersebut dioperasikan. Kelayakan dari segi mekanis dapat dilakukan dengan melakukan suatu analisa seperti analisa untuk mengetahui tegangan pipa, analisa untuk mengetahui berat pipa, dan analisa yang lainnya.

Persyaratan *code* yang umumnya digunakan adalah seperti : ASME (American Standart Mechanical Engineering), API (American Petroleum Industry), DNV (Det Norske Veritas), ISO (International Standart Organization), ABS (Assossiation British Standart), serta standart/code yang lainnya.

Data standart yang digunakan untuk mendukung analisa pada skripsi ini menggunakan persyaratan code/standart ASME B31.3 Proses Piping serta rules dan pendekatan-pendekatan yang lain.

2.3. Jenis Pipa *Expansion*

Menurut Febrianto, dkk. 2006, Expansion Joint merupakan salah satu dari beberapa jenis sambungan yang sangat sering dipakai dan memegang peran penting pada suatu system perpipaan. Expansion Joint adalah salah satu jenis sambungan yang dipakai untuk meredam getaran yang ditimbulkan oleh pompa.

Macam-macam pipa expansion antara lain :



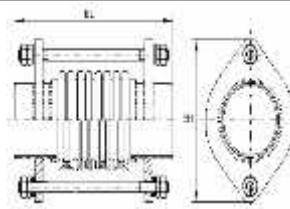
Single Expansion Pipe



Universal Expansion Pipe



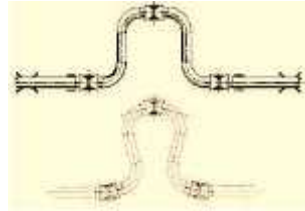
Tied Universal Expansion Pipe



Tied Single Expansion Pipe



Hinged Expansion Pipe



Loop Expansion Pipe

Gambar 2.2. Jenis Pipa *Expansion*

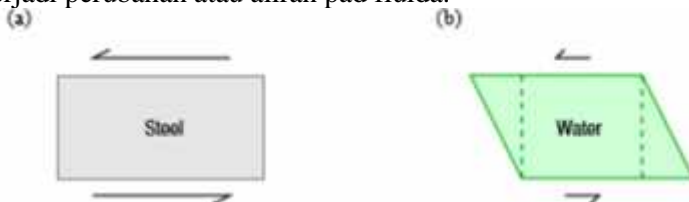
2.4. Dasar Teori

2.4.1. Fluida

2.4.1.1. Definisi Fluida

Fluida adalah suatu zat yang dapat berubah secara terus-menerus (secara kontinyu) bila terkena tegangan geser, sebetapapun kecilnya tegangan geser tersebut. (McDonough, J.M., 2009). Tegangan geser ini timbul adanya gaya geser. Gaya geser yang terjadi adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan, kemudian gaya geser tersebut yang dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata-rata pada permukaan itu. (Streeter, Victor, 1986:3). Untuk aliran yang mengalir dalam pipa, diasumsikan bahwa pipa terisi penuh oleh fluida yang sedang dipindahkan. Pada keadaan seperti ini, gaya penggerak utamanya adalah gradien tekanan sepanjang pipa.

Pada gambar 2.3, dapat diilustrasikan perubahan bentuk antara benda padat dengan fluida ketika adanya tegangan geser. Tegangan geser tersebut pada fluida dapat dilihat pada gambar 2.3 (b) dari posisi putus-putus karena adanya tegangan geser maka terjadi perubahan atau aliran pada fluida.



Gambar 2.3. Perbandingan deformasi dari benda padat dan fluida diakibatkan tegangan geser

2.4.1.2. Jenis dan Karakteristik Aliran Fluida

Jenis dan karakteristik aliran fluida yang dimaksudkan adalah aliran yang terjadi pada suatu tempat/komponen yang digunakan mengalirkan fluida tersebut. Aliran dari fluida yang melalui pipa, akan dipengaruhi oleh gaya momentum fluida yang membuat fluida bergerak di dalam pipa, gaya viscous/gaya gesek yang menahan aliran pada dinding pipa dan fluidanya sendiri (gesekan internal) dan juga dipengaruhi oleh belokan pipa, valve sebagainya.

Perbandingan gaya-gaya yang disebabkan oleh gaya inersia, gravitasi dan kekentalan yang umumnya dikenal sebagai bilangan Reynolds, yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Re = \frac{\rho U D}{\eta} \quad (1)$$

Atau bisa juga ditulis :

$$Re = \frac{U D}{\nu} \quad (2)$$

Dimana :

U = kec. rata-rata aliran (m/s)

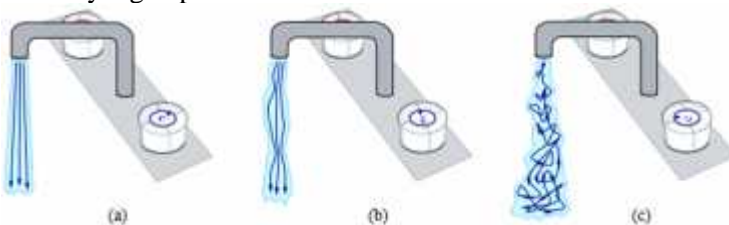
D = diameter pipa (m)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

η = viscositas dinamik (N.s/m^2)

ν = viscositas kinematik (m^2/s)

Dalam hal ini, nilai Re kecil, aliran akan meluncur lapisan diatas lapisan yang lain, yang sering disebut sebagai aliran laminar. Sedangkan jika aliran-aliran tadi tidak terdapat garis edar tertentu yang dapat dilihat maka aliran itu disebut aliran turbulen.



Gambar 2.4. Aliran Laminar dan Turbulen dari Air Kran, (a) Aliran Laminar, (b) Aliran Transisi, (c) Aliran Turbulen

Untuk batasan nilai Re untuk mendefinisikan jenis aliran fluida sebagai berikut:

Aliran laminar terjadi jika $Re < 2100$

Aliran transisi terjadi jika $2100 < Re < 4000$

Aliran Turbulen terjadi jika $Re > 4000$

Untuk saluran tertutup bilangan Reynolds telah dinyatakan pada persamaan berikut :

$$Re = \frac{U D}{\nu} \quad (3)$$

Sedangkan ;

$$R = \frac{A}{P} = \frac{1/4 \pi D^2}{\pi D} = \frac{D}{4} \quad (4)$$

$$4R = D \quad (5)$$

Bilangan Reynolds dapat juga ditulis sebagai :

$$Re = \frac{4 R U}{\nu} \quad (6)$$

Dimana :

D = diameter pipa (m)

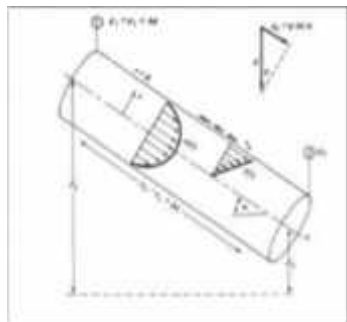
A = luas penampang pipa (m^2)

P = keliling basah (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

2.4.1.3. Analisa Aliran Pipa dengan Penampang Bundar

Berdasarkan gambar 2.7. diatas, aliran fluida pada bagian 1 dan 2 mengalir dengan laju yang konstan, sehingga kuantitas aliran fluida di berbagai bagian pipa pada waktu yang sama adalah tetap. Jika tidak ada fluida yang ditambahkan, dipindahkan atau diletakkan diantara bagian 1 dan 2, maka volume fluida yang mengalir antara



Gambar 2.5. volume kendali aliran pada pipa miring (Sumber : White, Frank M. 1994, 305)

bagian 1&2 tiap satuan waktu adalah tetap, dan dapat dirumuskan dengan $Q_1 = Q_2 = \text{konstan}$ (White, Frank M, 1994:305).

Pada pipa lurus dengan panjang dan diameter tertentu maka kecepatan kritis dari suatu fluida yang melewati suatu pipa secara teoritis dapat ditentukan dengan persamaan (ING. Wardhana, 2000:218).

$$V_c = \frac{\pi}{L} \left(\frac{E I}{\rho A} \right)^{0.8} \quad (7)$$

Dimana :

- V_c = kec. kritis fluida (m/s)
- L = panjang pipa (m)
- E = modulus elastisitas pipa (N/m²)
- I = inersia pipa (m⁴)
- A = luas penampang pipa (m²)

2.4.2. Getaran

2.4.2.1. Definisi Getaran

Getaran adalah suatu gerakan bolak-balik yang mempunyai amplitudo yang sama (wikipedia.org). Beberapa komponen penting pada getaran adalah sebagai berikut :

a. Frekuensi

Frekuensi adalah banyaknya jumlah putaran atau gerakan dalam satu satuan waktu (Rao, Singiresu S, 2004, 51). Dinyatakan dalam satuan Hertz (Hz).

b. Amplitudo

Amplitudo adalah simpangan terbesar dari titik normalnya (Rao, Singiresu S, 2004, 51). Amplitudo dapat berupa :

- Perpindahan (displacement)
- Kecepatan (velocity)
- Percepatan (acceleration)
- Sudut Fase (phase angle)

Sudut fase dapat diartikan sebagai perbedaan amplitudo dalam satu frekuensi (Rao, Singiresu S, 2004, 51).

Klasifikasi getaran secara umum dapat digolongkan menjadi dua yaitu :

- Getaran bebas

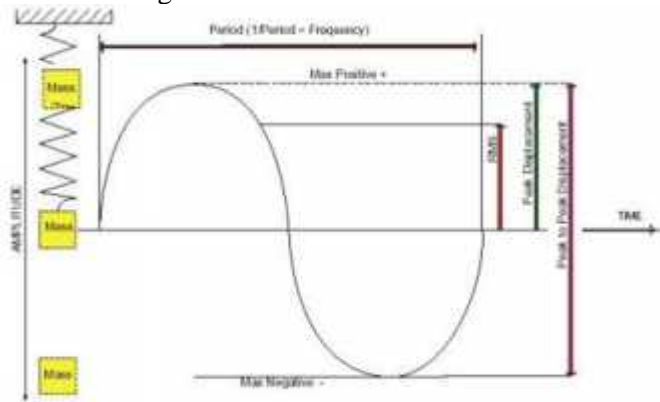
Getaran bebas adalah suatu getaran yang terjadi secara alami pada suatu sistem yang tidak dipengaruhi oleh gaya luar (external force)

- Getaran Paksa

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi akibat adanya rangsangan gaya dari luar (external force). Jika rangsangan tersebut beresilasi, maka sistem tersebut dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Apabila frekuensi rangsangan sama dengan frekuensi natural sistem, maka akan terjadi resonansi yang nantinya akan mengakibatkan pembesaran amplitudo. Keadaan resonansi ini bisa menyebabkan kerusakan pada sistem perpipaan seperti patah atau retak

2.4.2.2. Getaran pada Pipa

Analisa Vibrasi dapat didefinisikan sebagai studi dari pergerakan osilasi, dengan tujuan mengetahui efek dari vibrasi dalam hubungannya dengan performance dan keamanan sebuah sistem dan bagaimana mengontrolnya. Vibrasi secara sederhana dapat dilihat dari gambar 2.6.



Gambar 2.6. Deskripsi Vibrasi Sederhana

Seperti terlihat pada gambar 2.6, ketika massa kita tarik ke bawah lalu dilepaskan, maka pegas akan meregang dan selanjutnya akan timbul gerakan osilasi sampai periode waktu tertentu. Hasil frekuensi dari gerakan osilasi ini bisa disebut sebagai **natural frekuensi** dari sistem tersebut dan merupakan fungsi dari massa dan kekakuan.

$$f_n = \frac{C}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{M}} \quad (8)$$

Dimana :

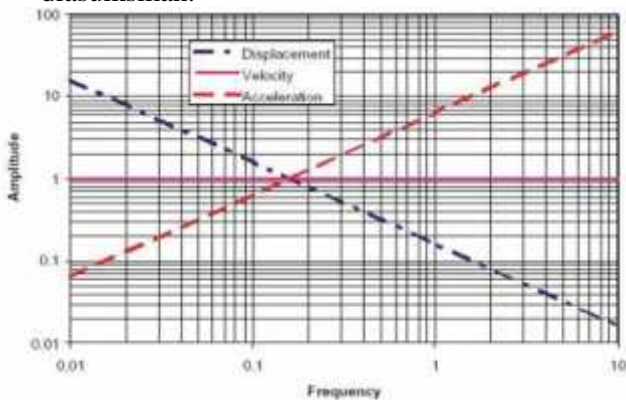
EI = kekakuan pipa (stiffness), (lbs-ft²)

L = panjang bentangan bebas pipa (ft)

M = kombinasi massa pipa dan massa tambah disekitar pipa persatuan panjang, (slug/ft)

C = konstanta yang tergantung dari kondisi ujung bentangan bebas pipa

Sebagai contoh, jika kedua ujung bentangan bebas pipa diasumsikan berbentuk tumpuan sederhana maka C adalah /2 atau 1.57. Jika kedua ujung pipa diasumsikan diklem, C adalah 3.5. Dalam praktek, cukup sulit untuk menentukan modeling terbaik kondisi ujung bentangan bebas untuk mensimulasikan kondisi ujung yang diasumsikan.



Gambar 2.7 Perbandingan Amplitudo dan Frekuensi

2.4.2.3. Metode Analisa getaran pada pipa

2.4.2.3.1. Metode Likelihood of Failure (MTD Ltd)

Metode Likelihood of Failure merupakan perhitungan konservatif untuk mengetahui apakah vibrasi yang terjadi masih dalam batas toleransi. LOF bukan merupakan probabilitas kegagalan dan juga bukan alat ukur kegagalan suatu sistem. Perhitungan LOF berdasarkan model sederhana untuk memudahkan penggunaan dan hemat.

Ruang lingkup LOF adalah mengidentifikasi masalah vibrasi, lalu menganalisa dan memberikan solusi. LOF bukan merefleksikan konsekuensi kegagalan. Konsekuensi kegagalan adalah tanggung jawab user. Bagaimanapun, LOF bisa dikombinasikan perhitungan konsekuensi kegagalan untuk menetapkan semua resiko dalam suatu sistem. Metode LOF diperkenalkan oleh MTD Ltd melalui joint industry yang melibatkan banyak perusahaan minyak dan gas serta kontraktor kelas dunia.

Metodologi perhitungan dengan metode LOF adalah :

- Mengidentifikasi penyebab eksitasi getaran
- Menghitung nilai LOF untuk pipa utama
- Menghitung nilai LOF untuk SBC

Rumus :

$$LOF = \frac{\rho v^2}{Fv} \quad (8)$$

Dimana :

- ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)
- v = viskositas kinematik (m^2/s)
- Fv = vibration number

Setelah diperoleh nilai LOF, selanjutnya menetapkan rekomendasi berdasarkan nilai tersebut, yaitu sebagai berikut:

- $LOF \leq 0.5$ → Tambah tumpuan / re-design pipa
- $0.5 > LOF \geq 0.3$ → Pipa utama aman tapi perlu analisa SBC
- $LOF < 0.3$ → Pipa utama dan SBC aman

2.4.2.3.2. Metode Displacement (ANSI/ASME OM-3)

Displacement Method merupakan metoda untuk menganalisa vibrasi pada pipa dengan menganalisa besaran defleksi dinamis akibat getaran dan kemudian menentukan apakah displacement yang terjadi akibat getaran tersebut masih dalam batas toleransi dan diijinkan. Metode Displacement diatur dalam standar internasional ANSI ASME Operational and Maintenance Part 3 “Requirements for Preoperational and Initial Start-Up Vibration Testing of Nuclear Power Plant Piping Systems”. Metode Displacement hanya bisa diterapkan pada system dalam tahap operasional dan tidak bisa diterapkan pada tahap desain.

Inti dari Metode Displacement adalah membandingkan displacement hasil pengukuran dengan alat dengan displacement yang diijinkan yang dapat dihitung berdasarkan ANSI ASME OM-3 dengan formula:

$$\delta_{allowable} = \frac{0,8 S_{cl}}{10000 \times C_2 K_2} \delta_n \quad (9)$$

Dimana :

δ_{all} = displacement yang diijinkan (zero to peak)

C_2 = secondary stress index dari ASME code

K_2 = local stress index dari ASME code

δ_n = defleksi nominal (gbr.1 di ASME ANSI OM3)

S_{cl} = endurance limit

2.4.3. Tegangan Pipa

2.4.3.1. Tegangan Normal

Tegangan normal adalah tegangan yang tegak lurus terhadap potongan bidang dan dapat berupa tegangan tarik (tensile stress) atau tegangan tekan (compressive stress).

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (10)$$

Dimana :

σ = tegangan (N/m²)

P = gaya tarik/tekan (N)

A = luas penampang melintang (m^2)

Pada gambar 2.7. batang tubular dengan luas penampang A dan panjang L mengalami pembebanan aksial akibat gaya tarik P . Akibat gaya ini, batang akan mengalami perubahan panjang sebesar:

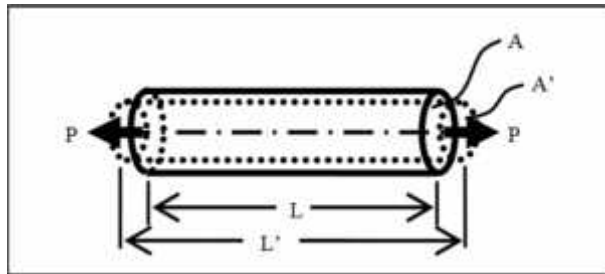
$$\Delta L = L' - L \quad (11)$$

Dimana :

ΔL = pertambahan panjang (m)

P = panjang batang setelah menerima beban (m)

L = panjang batang mula-mula (m)



Gambar 2.8. Pembebanan aksial pada batang tubular

Perbandingan antara pertambahan panjang (ΔL) dengan panjang mula-mula disebut sebagai regangan aksial (axial strain, ϵ), yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (12)$$

Dimana :

ϵ = regangan axial

ΔL = pertambahan panjang (m)

L = panjang batang mula-mula (m)

Dari gambar 2.6 juga dapat dilihat bahwa selain terjadi pertambahan panjang, juga terjadi pengurangan luas penampang dari A menjadi A' . Hal ini berarti jari-jari penampangnya juga mengalami perubahan dari R menjadi R' . Regangan ini dikenal

sebagai regangan radial (*radial strain*, ϵ') dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon' = \frac{R' - R}{R} = \frac{R - R'}{R} \quad (13)$$

Dimana :

ϵ' = regangan radial

R = jari-jari penampang mula-mula (m)

R' = jari-jari penampang setelah menerima beban (m)

Perbandingan antara regangan radial dengan regangan aksial disebut sebagai perbandingan Poisson (Poisson's ratio).

$$\nu = \frac{\epsilon'}{\epsilon} \quad (14)$$

Dimana :

ν = perbandingan *poisson/poisson's ratio*

ϵ' = regangan *radial*

ϵ = regangan *axial*

2.4.3.2. Tegangan Geser

Tegangan geser (shear stress) adalah tegangan yang bekerja dalam arah tangensial terhadap permukaan bahan.

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (15)$$

Dimana :

τ = tegangan geser (N/m^2)

V = gaya geser (N)

A = luas penampang melintang (m^2)

2.4.3.3. Tegangan Von Mises

Pada elemen tiga dimensi, bekerja tegangan-tegangan searah sumbu x, y, dan z. Pada tiap-tiap sumbu dapat diketahui tegangan utama ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) yang dihitung dari komponen tegangan dengan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{bmatrix} = 0 \quad (16)$$

Dimana :

- σ_0 = tegangan utama yang bekerja pada sumbu
- σ_x = tegangan arah sumbu x
- σ_y = tegangan arah sumbu y
- σ_z = tegangan arah sumbu z
- σ_{xy} = tegangan arah sumbu xy
- σ_{xz} = tegangan arah sumbu xz
- σ_{yz} = tegangan arah sumbu yz

Penggabungan tegangan-tegangan utama pada suatu elemen merupakan suatu cara untuk mengetahui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada node tersebut. Salah satu cara mendapatkan tegangan gabungan adalah dengan menggunakan formula tegangan Von Mises yaitu:

$$\sigma_e = \left(\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \right)^{1/2} \quad (17)$$

Dimana :

- σ_e = tegangan maksimum
- σ_1 = tegangan utama 1
- σ_2 = tegangan utama 2
- σ_3 = tegangan utama 3

2.4.3.4. Tegangan Thermal

Thermal stress adalah tegangan yang terjadi akibat adanya pemuaian pada pipa. Dalam hal ini sangat penting untuk mengetahui karakteristik material pipa dikarenakan tegangan ini jika berlebihan dapat menyebabkan terjadinya retakan/crack akibat kelelahan material yang tidak mampu menahan tegangan tersebut.

2.4.4. Flow Induced Vibration (FIV)

2.4.5. Computational Fluid Dynamics (CFD)

Pengertian *Computational Fluid Dynamics (CFD)* adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan

menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (model matematika). *CFD* juga dapat diartikan sebagai suatu teknologi komputer yang memungkinkan pengguna untuk mempelajari dinamika dari benda-benda atau zat-zat yang mengalir (Tuakia, 2008:2). *CFD* menyelesaikan masalah berdasarkan pada persamaan fundamental dari dinamika fluida (Trimulyono dan Sagala, 2011).

Penggunaan *CFD* pada penelitian ini dimaksudkan untuk memvisualisasikan aliran di dalam sebuah *vortex* dan memberi informasi properti aliran yang sulit diperoleh secara menyeluruh pada eksperimen. Dalam visualisasi *CFD* dikenal Solver, processor dan simulasi numeris.

Pada proses penggunaan *CFD* software Ansys terdapat tahapan yang harus dilakukan agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang direncanakan. Tahapan proses tersebut antara lain :

- Pre-processor
- Solver
- Post-processor

2.5. Pipa Support

Support atau penyangga ada banyak type, dan penempatannya dapat ditabelkan berdasarkan fluida, temperature dan pressure (tekanan) yang digunakan dalam sistem, namun pemakaian table ini tidak berarti bahwa tegangan yang terjadi atau beban nozzle adalah *acceptable*, maka dengan adanya ini adalah perlu dilakukan analisis berdasarkan code-code yang ada dengan pemakaian perangkat lunak, dalam hal ini CAESAR II.

Letak dari pipe support sangat bergantung kepada size pipa, layout dari pipa dan lokasi daripada rigid weight seperti valves dan specialty items, serta tidak lupa bergantung dari ketersediaan support pada struktur. Cara yang paling mudah untuk menentukan beban yang harus diterima oleh pipe support adalah dengan memodelkan pipa sebagai beam yang diberi beban uniform.

Tabel spans maksimum antar support berdasarkan dari size pipa dan fluida yang mengalir dalam pipa tersebut. Berikut adalah tabelnya :

Tabel 2.1. Jarak maksimum antar tumpuan pipa

Jarak maksimum antar support pipa yang disarankan					
Nominal pipe size		Air Isian		Uap, Udara, Gas Isian	
In	mm	ft	m	ft	M
1	25	7	2.1	9	2.7
2	50	10	3	13	4
3	80	12	3.7	15	4.6
4	100	14	4.3	17	5.2
6	150	17	5.2	21	6.4
8	200	19	5.8	24	7.3
12	300	23	7	30	9.1
16	400	27	8.2	35	10.7
20	500	30	9.1	39	11.9
24	600	32	9.8	42	12.8

Referensi : Helguero M, Victor, Piping Stress Handbook, 1986 : B.188)

note : tabel di atas berdasar atas fixed beam support dengan bending stress maksimum 2300 psi, dan sag (displacement arah vertical maksimum) yang diijinkan adalah 2.5 mm (o.1 inch). Tabel ini untuk pipa lurus horizontal yang memiliki maksimum operating temperature 400 C (750 F).

Tabel di atas tidak memperhitungkan beban terpusat (concentrated load) antar support (disebabkan oleh flange, valve, specialty items, dst) dan juga belum memperhitungkan apabila terjadi perubahan arah pipa. Untuk itu, perlu ditambahkan guideline sbb :

- Pipe support harus diletakkan sedekat mungkin dengan beban terpusat seperti flange, valve , dst
- Apabila ada perubahan arah searah horizontal pada pipa, maka disarankan tabel span di atas dibatasi sampai 75% nya saja. Hal ini guna menambah stabilitas dari pipa dan mengurangi eccentric loading. Perlu diingat bahwa tidak direkomendasikan meletakkan pipe support di elbow,

karena hal tersebut akan membuat elbow menjadi stiff dan fleksibilitasnya jadi berkurang.

- Tabel span di atas tidak bisa digunakan untuk menentukan span pada pipa vertical (riser). Pada riser, support harus diletakkan pada bagian atas (di atas center of gravity) dari riser tersebut untuk mencegah terjadinya instabilitas pada pipa yang disebabkan karena berat pipa tersebut. Guide dapat diletakkan pada vertical riser yang panjang untuk mengurangi sag yang disebabkan karena defleksi pipa. Guide ini biasanya diletakkan pada jarak $2 \times$ daripada horizontal span pada tabel di atas.
- Lokasi support sebisa mungkin diletakkan sedekat mungkin dengan steel structure yang sudah existing, sehingga dapat menghemat biaya.

Dengan perhitungan sederhana menggunakan rumus dibawah ini :

$$L = \sqrt{\frac{0,4Z Sh}{W}} \quad (18)$$

Dimana

Z = *modulus of section* pipa (mm^3)

$$= \frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4 / d_o)$$

L = Jarak tumpuan maksimum pipa (mm)

W = Berat total sistem perpipaan persatuan panjang (N/mm)

$$= W_p + W_c + W_i$$

W_p = Berat pipa persatuan panjang (N/mm)

$$= \pi/4 \cdot (d_o^2 - d_i^2) \cdot (\text{density of steel})$$

W_c = Berat pipa persatuan panjang (N/mm)

$$= \pi/4 \cdot (d_i^2) \cdot (\text{density of fluida})$$

W_i = Berat pipa persatuan panjang (N/mm)

$$= \pi/4 \cdot (d_{o \text{ insul}}^2 - d_o^2) \cdot (\text{density of insulation})$$

2.6. Kriteria Desain yang Diijinkan

Untuk Sustained load, adalah;

$$S_L < S_h$$

Dimana;

$$S_L = \left(\frac{PD}{4t} \right) + S_b$$

S_h \approx Tegangan yang diijinkan pada suhu maksimum dari suatu material (ASME IID);

Untuk Occasional load, adalah;

$$S_o < 1,33 S_h$$

S_A \approx Allowable disp. Stress range suatu material (ASME IID);

Untuk Expansion load, adalah;

$$S_E < S_A$$

Dimana;

$$S_E = (S_b^2 + 4 S_t^2)^{0,5}$$

S_A \approx Allowable disp. Stress range suatu material (ASME IID);

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Untuk menyelesaikan permasalahan diatas akan digunakan metode analisis. Desain analisis dapat dilihat dalam *flow chart* dibawah. Dalam desain analisis terdapat beberapa tahap penyelesaian yaitu pembuatan model, perhitungan tegangan yang terjadi pada area pipa *expansion U-loop*, dan simulasi serta analisa model yang didesain.

3.2. Metodologi Penelitian

Metodologi penulisan yang digunakan dalam menyusun tugas skripsi ini dijelaskan sebagai berikut:

3.3. Studi Literatur

Jenis data yang digunakan dalam penulisan ini bersumber dari :

a. Data primer,

Pengambilan data primer didapat dengan meninjau secara langsung (survey lapangan) ataupun tak langsung pada bagian perancangan layout dan jalur pipa sehingga didapatkan data sebagai berikut :

- Penggambilan data gambar, data pipa serta equipment sistem perpipaan yang terkait dengan sistem tersebut.
- Studi Kasus pada penelitian diambil dari instalasi Pipa *Steamline Menuju Inlet Turbine Power Plant Area* – PT. Medan Sugar Industry

b. Data Sekunder,

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan analisa design model menggunakan bantuan software. Serta data dari studi literatur dan jurnal yang telah ada. Sehingga diperlukan data sebagai berikut :

- Parameter data yang diambil sebagai perhitungan antara lain ; *flowrate* (Ton/hr), *design pressure* serta design temperatur.

- Data penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, serta dari buku-buku literatur dan jurnal yang terkait.

3.4. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data yang digunakan dalam penulisan ini melalui dua tahap yaitu:

- Studi pendahuluan, tahap ini dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan yang timbul dari sistem pipa perpipaan (khususnya pada instalasi pipa *expansion U-loop*).
- Studi Empiris, yakni tahap ini dilakukan untuk mengumpulkan data atau informasi yang diperlukan dalam tahap simulasi aliran fluida pada pipa *expansion U-loop*.

3.4.1. Data

Sumber : data yang digunakan dalam studi ini adalah data pipeline steam boiler – steam header – turbine, PT. Medan Sugar Industry, Medan, Sumatra Utara.

Data Process

Flowrate :

- Steam : 11,12 m²/s

Fluida Density

- Steam/Uap udara : 5,498 kg/m³

Flowline Pressure and Temperature

- Steam/Uap Udara : 40 barg and 450⁰ C

Data Struktur

Specification pipe : (flowline steam fr steam header to turbine)

- Material : Carbon Stell/ASTM A106 grB
- OD/Sch/Thk : 10“ /Sch. 80/ 12,9 mm
- Pres. Rating/class: Ansi B36.10/600#
- Fluida Service : Steam gas
- Design temp. : 450⁰ C
- Design Press. : 10 kg/cm² (line steam header menuju inlet Turbine)
- v² criteria : max. 35.000 (refer to Asme App. IID)

3.5. Perhitungan Awal

Proses ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi akibat adanya aliran fluida, sehingga dari hasil ini dapat dijadikan parameter apakah design yang telah ada/existing masih dalam batas aman sesuai criteria design yang terdapat pada ASME B31.3 *piping proses*. Adapun hasil yang ingin diperoleh antara lain :

- Tegangan dan pembebanan yang terjadi disistem pipa *expansion (U-loop)*.
- Beban yang diterima oleh sistem.
- Perbedaan temperature pada dinding pipa.

3.6. Pemodelan dan Simulasi Aliran Fluida menggunakan Ansys Fluent

Setelah mendapatkan data terkait untuk proses input simulasi design maka selanjutnya dilakukan tahap permodelan dan simulasi dari design exsisting tersebut yang terdiri dari beberapa tahap antara lain : Pre-processor (Proses pembuatan geometry desain serta penginputan data untuk membangun model CFD), Membuat geometri model, Input kondisi batas aliran, Post-processor (mengolah dan menyajikan hasil perhitungan numerik, dll hingga didapatkan visualisasi bentuk aliran yang terjadi pada pipa *expansion U-loop*

3.6.1. Data Process dan Data Struktur

Pada tahap awal pemodelan diperlukan input data-data. Maka pada tugas ini Sumber data yang digunakan dalam studi ini adalah data *pipeline steam boiler – steam header – turbine*, milik PT. Medan Sugar Industry, Medan, Sumatra Utara.

Data Process (Fluida)

Flowrate :

- Steam : 11,12 m²/s

Fluida Density

- Steam/Uap udara : 5,498 kg/m³

Flowline Pressure and Temperature

- Steam/Uap Udara : 40 barg and 450⁰ C

- Design temp. : 450⁰ C
- Design Press. : 10 kg/cm² (line steam header menuju inlet Turbine)

Data Struktur

Properti pipe (flowline steam dari steam header hingga turbine)

- Material : *Seamless Carbon Stell*
- *NPS/Sch/Thk* : 10" (OD.273mm)/Sch. 80/ 15,06 mm
- *Pres. Rating/class* : ASTM A106 grade B /600#
- *Length_(total)* : 61.700 mm (*Steam header to Inlet Turbine*)
: **14.970 mm (Pipa expansion (U-loop))**
- *Spesified Min. Yield Strength (SMYS)* : 35.000 psi
- *Spesified Min. Tension Strength (SMTS)* : 60.000 psi
- *Elongasion in 50 mm*
Longitudinal : 30 %
Transverse : 16,5 %
- *Density* : 7.850 kg/m³
- *Young's modulus* : 207 Gpa
- *Poisson's rasio* : 0,30
- *Thermal Expansion Coefficient* : 11,7 x 10⁻⁶ °C⁻¹
- *Thermal conductivity* : 45 W/m⁰C
- *Max. Design Temperature* : Not Permitted
- *End Finish* : Bevel end (V-Groove)

3.6.2. Pre-processor

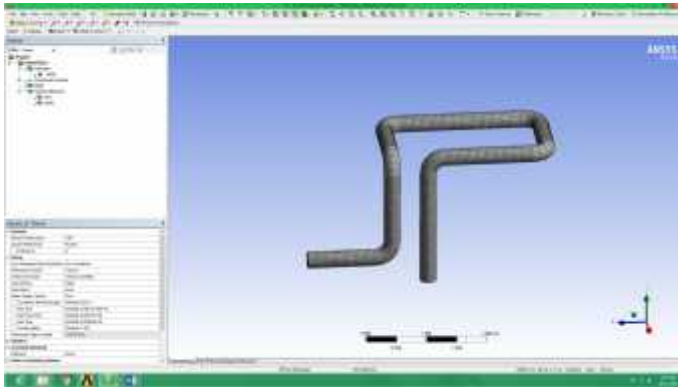
Adapun langkah-langkah pada tahap ini adalah melakukan input *engineering data* yang ada pada program *ansys workbench* yang data tersebut untuk membangun geometri serta memberi batasan-batasan karakteristik model pipa *expansion (U-loop)*. Pre-processor terdiri dari beberapa masukan masalah ke program CFD / menentukan jenis solver yang cocok untuk proses simulasi data. Tahap ini terdiri dari beberapa tahap antara lain :

- Membangun Geometri model, tahap ini dilakukan dengan menggunakan bantuan software Autodesk Inventor pada proses ini dibutuhkan ukuran diameter pipa serta dimensi panjang pipa, sehingga didapatkan gambar yang sesuai desain existing yang ada.



Gambar 3.1 Tampilan Geometri Model *Existing* Pipa *Expansion* Dengan Software *Autodesk Inventor*.

- Setelah proses geometri model selanjutnya adalah membuat meshing Proses meshing ini dilakukan dengan bantuan *Ansys Workbench CFD Fluent*.



Gambar 3.2 Tampilan Meshing Geometri Model Existing Pipa Expansion Dengan Software *Workbench CFD Fluent*.

Setelah proses meshing, selanjutnya adalah penginisialan nama pada masing-masing surface permukaan. Adapun identifikasi nama tersebut sebagai berikut :

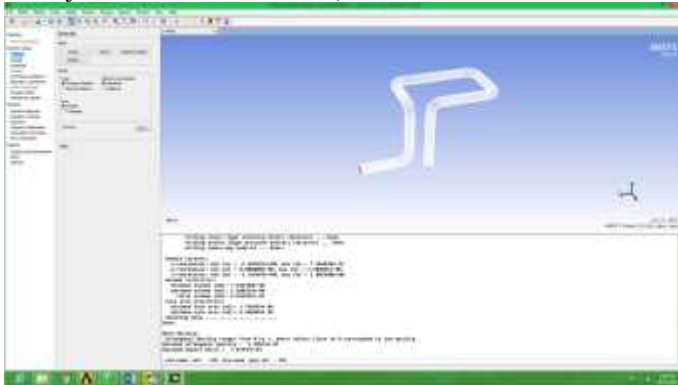
- Inlet
- Outlet
- Wall
- Memilih fenomena fisikal dan chemical yang akan dimodelkan.
- Memasukkan data sifat fluida kerja (jenis fluida, massa jenis, viskositas, konduktivitas, dll).

Sehingga pada tahap ini dibutuhkan data input sebagai berikut : Gambar isometri pipeline steam dari Steam header hingga Inlet Turbine, dimensi dan spesifikasi material (karakteristik material), karakteristik fluida (*density*, *flowrate*, dan temperatur fluida).

3.6.3. Setting Solver (Setup)

Setelah tahap meshing dan penginisialan nama dilakukan dengan, selanjutnya melakukan pengaturan parameter-parameter yang akan dijadikan batasan dalam analisa pemodelan.

Seperti hal yang ingin diketahui pada simulasi maka ditentukan pengaturan keluaran atau hasil pada proses selanjutnya. Antara lain pilihan yang dapat diketahui adalah : tegangan, lairan fluida, serta bertuk karakteristik lainnya yang dilakukan dengan proses penyelesaian menggunakan perhitungan numerik (*finite element method*).



Gambar 3.3 Proses setup

3.6.4. Post-processor (Result)

Tahap ini melakukan pengolahan dan menyajikan hasil-hasil dari perhitungan numerik baik secara grafis maupun kontur serta melakukan perhitungan sekunder berdasarkan variable nilai dasar (kecepatan, tekanan, dan temperatur) sehingga mendapatkan beberapa karakteristik alir fluida.

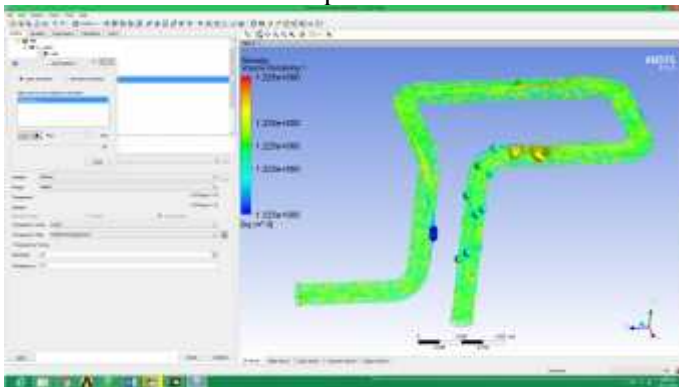


Gambar 3.4 Result/Hasil Distribusi Tekanan Aliran Fluida

3.6.5. Hasil Pemodelan dan Simulasi Aliran Fluida

Dari tahap sebelumnya didapatkan beberapa hasil yang menggambarkan karakteristik alira fluida antara lain :

- Geometri domain dan tampilan grid
- Pola aliran (vektor & kontur kecepatan); pada gambar 3.5
- Distribusi tekanan ; pada gambar 3.4
- Distribusi temperatur
- Perhitungan sekunder
- Parameter desain & Plot permukaan 2D & 3D



Gambar 3.5 Result/Hasil Pola Aliran Fluida

3.7. Pembahasan

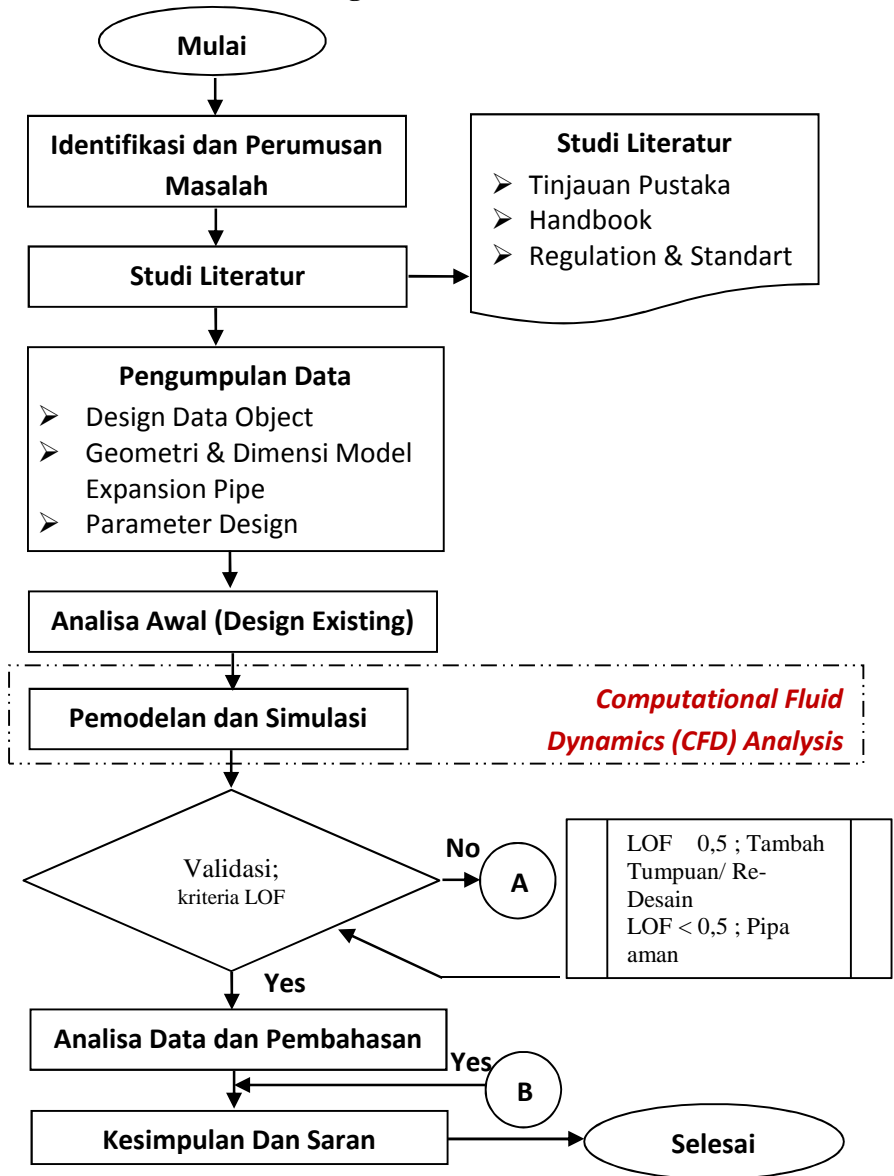
Hasil dari perhitungan dan hasil simulasi yang dilakukan dengan bantuan software akan dibandingkan terhadap kriteria design yang telah diatur di AMSE B31.3 *piping proses*, sehingga dari perbandingan tersebut diharapkan bisa mengetahui bagian kritis yang ada pada sistem pipa *expansion (U-loop)*. Disamping itu akan ditampilkan distribusi aliran yang melewati dinding-dinding pipa *expansion (U-loop)* agar dapat mencegah dampak kerusakan akibat vibrasi yang timbul akibat aliran fluida tersebut. Selain itu dari hasil distribusi ini akan dijadikan titik parameter untuk menentukan titik penempatan pipe support pada pipa *expansion* tersebut.

Dari hasil simulasi dan perhitungan awal yang dilakukan maka akan dilakukan perhitungan frekuensi normal yang terjadi pada pipa *expansion*, apabila dari perhitungan analisa melebihi batas getaran yang diijinkan maka akan dilakukan penganalisaan dengan menggunakan metode LOF dan Displacement method. Maka proses selanjutnya akan dilakukan perubahan titik pipe support yang mengikuti distribusi aliran yang terjadi, sehingga diharapkan dapat mengurangi dampak kerusakan yang timbul. Dan apabila dengan merubah titik-titik pipe support tersebut belum mengurangi dampak kerusakan maka akan dibuatkan design baru untuk dimensi sistem pipa *expansion (U-loop)* dan penggunaan pipe support yang sesuai handbook yang telah ada. Sehingga dari hasil akhir tersebut dijadikan data yang dapat digunakan sebagai parameter dalam perencanaan penggunaan sistem pipa *expansion* dengan type U-loop.

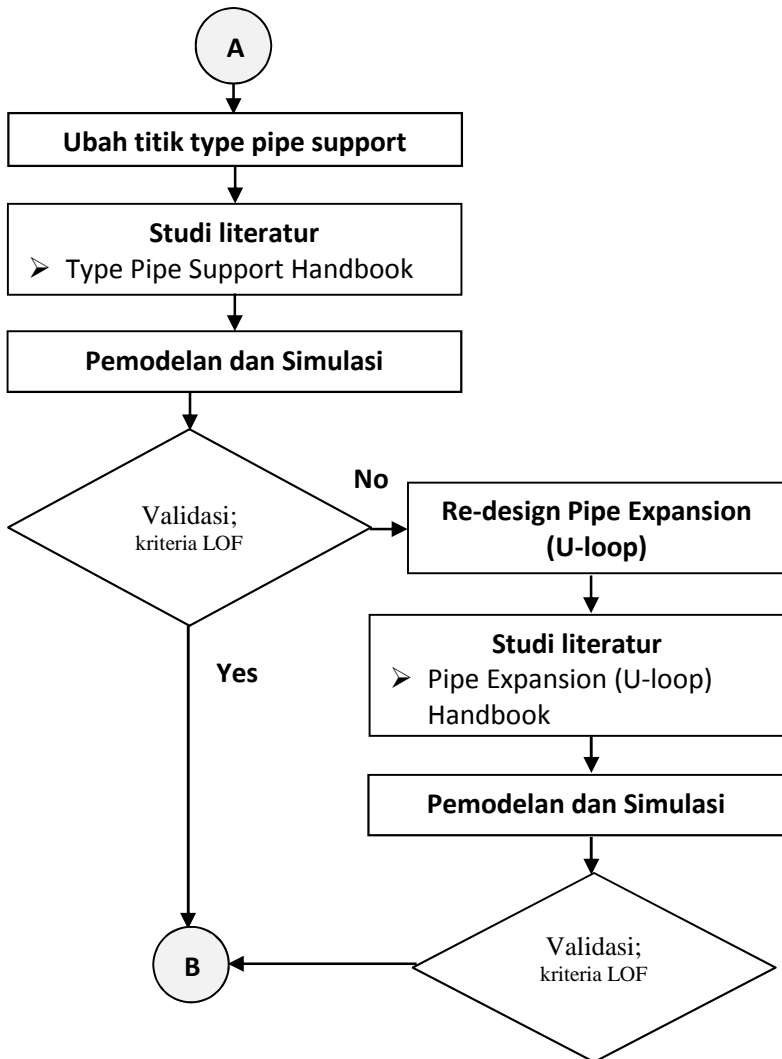
3.8. Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan simulasi dan analisa design selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari data simulasi tegangan dengan menampilkan segment dari aliran vortex yang telah dilakukan serta memberikan saran agar dapat dijadikan rekomendasi yang relevan untuk perencanaan pada instalasi perpipaan.

3.9. Flowchart Metodologi Penelitian

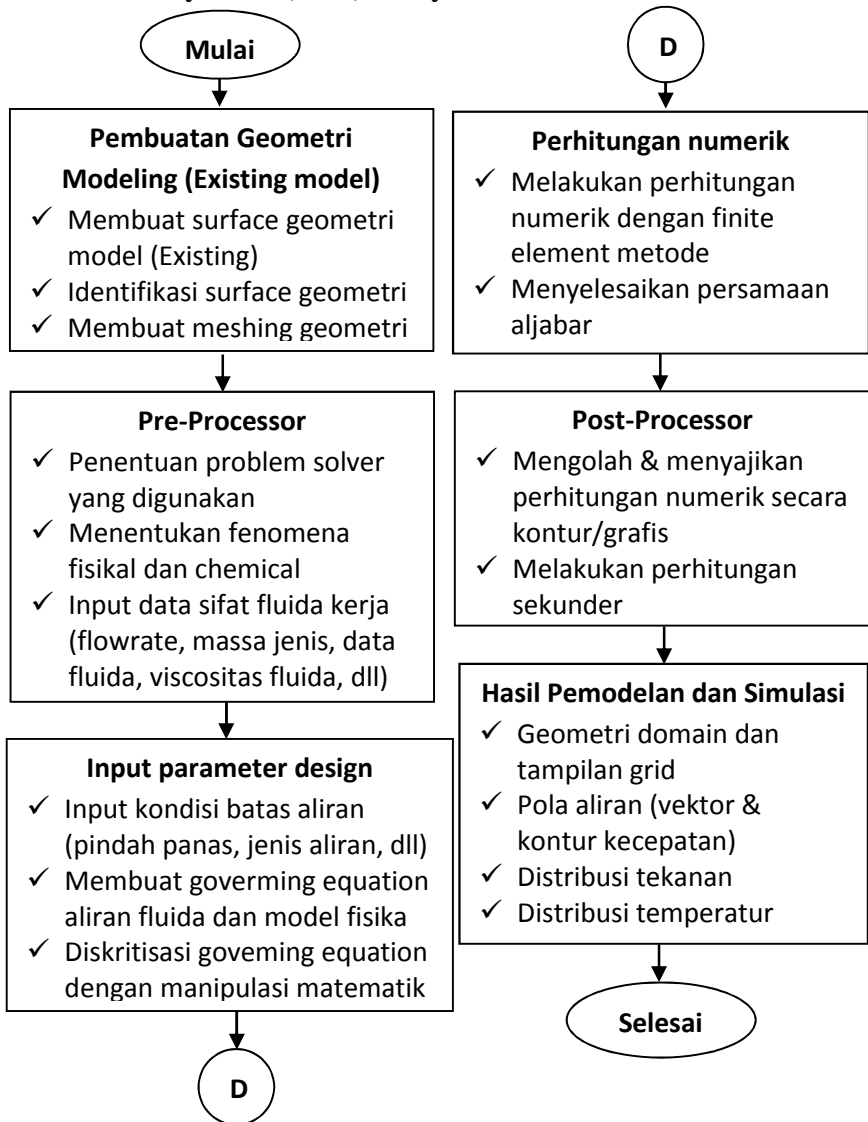


Gambar 3.6. Flowchart Metodologi Penelitian (1/2)



Gambar 3.7. Flowchart Metodologi Penelitian (2/2)

3.10. Flow chart Pemodelan dan Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) Analysis



Gambar 3.8. Flowchart Pemodelan dan Simulasi Aliran Fluida

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Pada bab ini akan dijelaskan langkah-langkah pembuatan objek dengan yang akan dilanjutkan dengan proses simulasi pada objek dengan menggunakan bantuan software CFD (Computational Fluid Dynamic). Disamping itu juga akan lebih dijelaskan mengenai analisa yang didapatkan ketika melakukan simulasi model.

Perancangan model ini didasarkan penjelasan pada dasar teori yang digunakan, sehingga terdapat beberapa tahapan sebelum dan setelah dilakukan simulasi. Dimana masing-masing tahapan akan diberikan penjelasan mengenai hasil simulasi yang didapat. Pada tahap awal akan dilakukan verifikasi sumber data yang selanjutnya dengan data tersebut akan dijadikan input data software untuk melakukan pembuatan geometry serta perhitungan secara numerik yang terdapat pada software Asnys.

4.2. Penentuan Parameter

Dalam pengerjaan skripsi ini digunakan jenis simulasi pemodelan dimana hasilnya akan memperlihatkan sebuah aliran fluida, serta pengaruh aliran tersebut yang dapat mengakibatkan deformasi/tegangan. Oleh karena itu dibutuhkan beberapa parameter yang saling keterkaitan dalam setiap melakukan proses simulasi pemodelan aliran fluida. Adapun parameter data geometry yang digunakan dalam simulasi skripsi ini antara lain adalah :

- Panjang pipa dari steam header – sistem pipa expansion (U-Loop) : 61.700 mm
- Panjang pipa sistem expansion : 14.970 mm
- Diameter pipa dan type Elbow : 10" / elbow 90°

Selain data geometry diatas, dari jenis material yang digunakan didapatkan data struktur material menurut *Standart Specification Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service ASTM*

untuk *designation material* : A 106 – 02a (data terlampir). Berdasarkan data tersebut akan dijadikan sebagai verifikasi sumber data untuk proses input data pada software Ansys (CFD).

4.3. Proses Analisa Simulasi Pemodelan

Setelah penentuan parameter yang dilakukan pada proses sebelumnya, maka berdasarkan parameter tersebut dijadikan data input untuk mengoprasikan simulasi yang dibantu dengan software Ansys (CFD).

4.3.1. Penggambaran Geometry

Pada tahap awal dalam proses simulasi pemodelan adalah melakukan pembuatan geometry model yang akan dijadikan subjek analisa pada skripsi ini. Pada pembuatan geometry ini dilakukan sesuai dengan batasan-batasan parameter yang dijadikan input pada setiap proses awal simulasi.

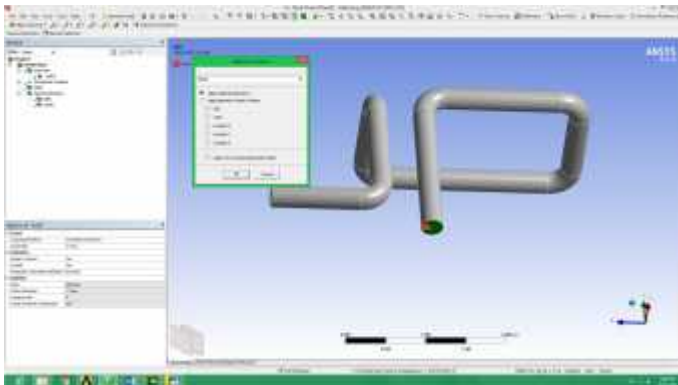
Pada pembuatan model ini akan dilakukan dengan menggunakan beberapa bantuan software gambar untuk mempermudah visualisasi bentuk geometry, terutama pada objek simulasi pipa *expansion (U-loop)*. Dimana software yang digunakan dalam pembuatan tersebut antara lain : AutoCad versi 2007, Autodesk Inventor versi 2015, serta bantuan dari workbench Ansys versi 14 yang digunakan untuk identifikasi dan penamaan item serta meshing geometry.

Pada proses penggambaran pada AutoCad dan Autodesk Inventor harus dipastikan hasil yang didapat adalah yang bagus dan sesuai dengan batasan-batasan parameter yang ada, sehingga ketika akan melanjutkan pada proses berikutnya tidak terdapat kekurangan dan tidak menghambat proses berikutnya. Dikarenakan pada proses penggambaran dilakukan di software AutoCad dan Autodesk Inventor maka untuk proses selanjutnya perlu dilakukan import geometry dari software AutoCad/Autodesk Inventor menuju Workbench Ansys, oleh karena itu pada proses awal pembuatan geomery sangat diperhatikan agar proses selanjutnya dapat berjalan dengan baik serta tidak terdapat kesalahan geometry objek.



Gambar 4.1 Pembuatan geometry pemodelan

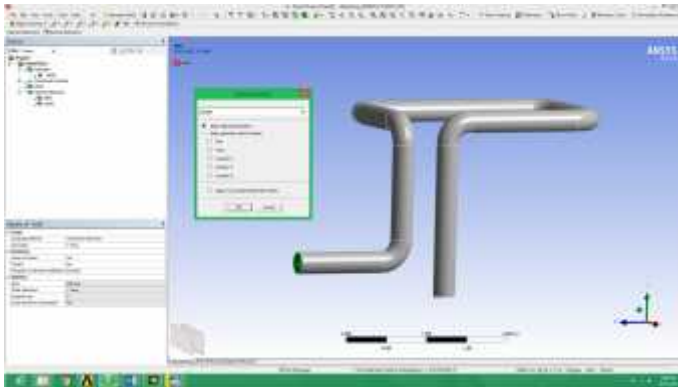
Pada gambar 4.1. dapat diketahui bahwa geometry model telah dibuat sesuai dengan dimensi pada model existing yang digunakan. Selanjutnya model tersebut dipastikan ke-*symetris*-an bentuk pipa agar pada proses berikutnya tidak mengalami kegagalan/keakuratan hasil.



Gambar 4.2 Identifikasi dan penamaan geometry (Inlet fluida)

Setelah pengecekan hasil model yang dilakukan pada software Autodesk Inventor versi 2015, maka selanjutnya dilakukan import data tersebut ke software Workbench Ansys. Pada proses ini data geometry sangat tergantung dari hasil

pembuatan model pada proses sebelumnya, sehingga dari Import data tersebut selanjutnya akan dilakukan penamaan atau identifikasi part surface model. Pada gambar 4.2. dilakukan penamaan pada bagian/part yang dijadikan inlet aliran fluida dan pada gambar 4.3 dilakukan penamaan outlet aliran fluida serta wall/dinding lapisan batas yang diidentifikasi pada seluruh bidang dinding pipa.

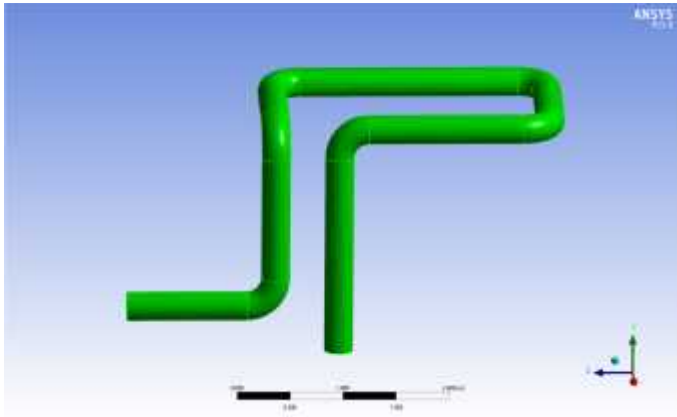


Gambar 4.3 Identifikasi dan penamaan geometry (Outlet fluida)

Proses ini dilakukan pada *Workbench Ansys Fluent*. Dimana dalam proses meshing tersebut juga telah dilakukan identifikasi/penamaan serta penentuan *body* simulasi yang akan dijadikan domain untuk proses analisa aliran pada sistem pipa *expansion (U-loop)*. Penamaan yang telah dilakukan pada domain ditentukan nama *Inlet*, *Outlet*, *Wall*nya. Dimana nantinya pada proses analisa masing-masing domain mempunyai batasan-batasan tersendiri seperti :

- Inlet, akan difungsikan sebagai input/masukan dari aliran fluida.
- Outlet, difungsikan sebagai akhiran/keluaran fluida setelah aliran melewati sistem pipa *expansion (U-loop)*.
- Wall, sebagai batasan/dinding-dinding dari aliran fluida yang melewati sistem pipa *expansion (U-loop)*.

Sehingga dari penamaan tersebut dapat membantu mempermudah pendefinisian *boundary* untuk semua objek yang akan dianalisa.



Gambar 4.4 Visualisasi solid geometry

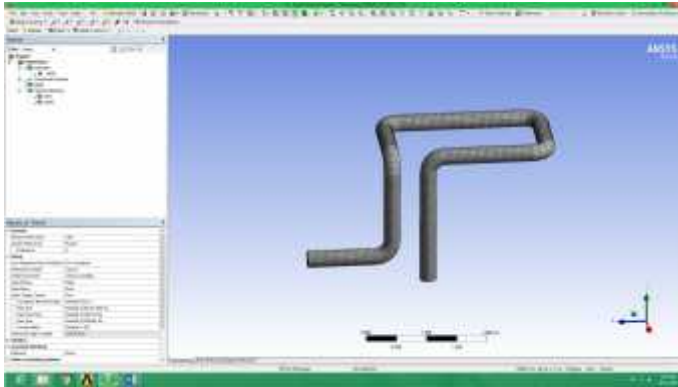
Setelah seluruh penamaan telah dilakukan maka dilakukan penyimpanan/*saving* data dan selanjutnya dilakukan visualisasi bentuk solid pada geometry tersebut. Proses tersebut dilakukan untuk memastikan bentuk serta seluruh part telah terhubung dengan baik.

4.3.2. Proses Meshing Geometry

Proses selanjutnya yang dilakukan setelah pembuatan geometry adalah melakukan proses *meshing geometry*. Dimana ini harus dilakukan sebelum masuk ke dalam proses input data/*set up* pada software CFD Ansys. Proses meshing ini sangat dipengaruhi dari bentuk geometry yang telah dibuat pada proses sebelumnya, jadi pada proses meshing ini merupakan proses lanjutan yang dilakukan setelah penamaan dan identifikasi *surface/dinding* pipa *expansion* yang dijadikan sebagai objek analisa.

Proses meshing adalah pemberian batasan-batasan yang berupa grid berbentuk seperti jaring-jaring dimana grid tersebut sangat berpengaruh terhadap tingkat ketelitian proses selanjutnya. Apabila pada bagian yang dianggap kritis/perlu perhatian khusus

maka diperlukan ukuran grid yang lebih detail/rapat, agar hasil simulasi pada analisa dapat secara maksimal dan dapat mengurangi adanya sebuah kesalahan ketika proses penyelesaian solver pada software CFD Ansys.



Gambar 4.5 Meshing objek pada Ansys Fluent

Pada meshing model geometry ini, dilakukan pemberian detail grid secara absolut untuk area wall/dinding pipa, sedangkan pada bagian inlet disetting lebih detail/rapat. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat ketika fluida tersebut bergerak masuk ke inlet pipa.

Setelah proses meshing dilakukan, selanjutnya dilakukan *set-up/input* data struktur fluida serta data aliran fluida. Dimana proses ini dilakukan dengan memasukkan data-data sesuai sumber data yang telah didapatkan. Setelah proses input data tersebut telah dilakukan maka selanjutnya adalah proses *runing program* dengan melakukan perhitungan secara numerik yang terdapat pada software *CFD*, dimana proses tersebut nantinya akan menghasilkan beberapa *output*-an kontur, grafik sesuai yang diharapkan ketika input data. Dari hasil tersebut data yang keluar akan dilakukan analisa dan pengolahan data.

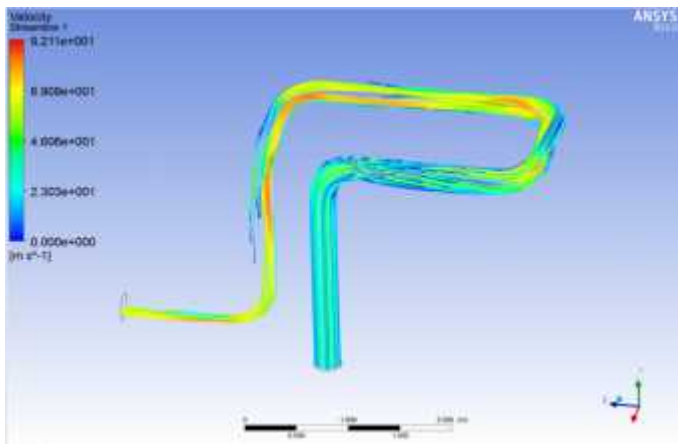
4.3.3. Analisa Fluida dengan Ansys Fluent

Setelah proses *runing program*, maka hasil keluaran/*output* simulasi akan dijadikan bahan analisa. Berdasarkan gambar 4.6

didapatkan bentuk aliran fluida yang melalui dalam pipa *expansion (U-loop)* terlihat perbedaan warna yang menunjukkan besar kecepatan aliran fluida, dimana warna biru menunjukkan minimum kecepatan aliran sedangkan warna merah menunjukkan batas maksimal kecepatan aliran fluida yang melalui pipa *expansion* tersebut.

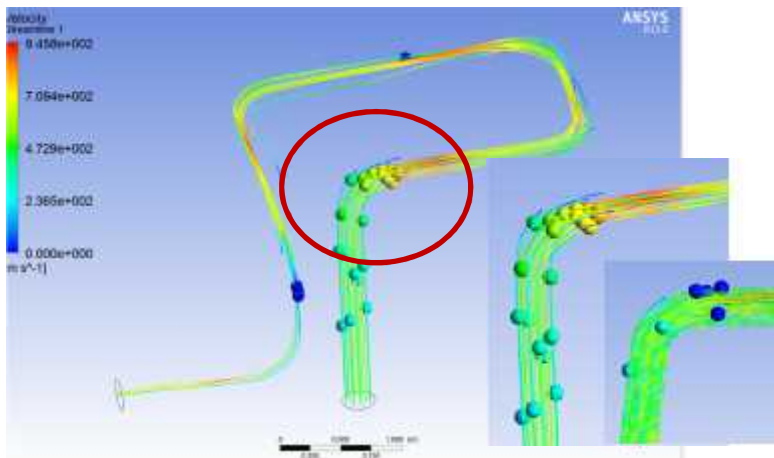
Vortex flow Characteristic

Pengolahan data dan hasil analisa aliran fluida dengan ANSYS Fluent, digunakan untuk mengetahui distribusi aliran yang terjadi pada pipa *expansion (U-loop)*. Distribusi aliran fluida pada gambar 4.6 ketika aliran mulai bergerak dari inlet berada pada kecepatan rata-rata yang divisualisasikan dengan warna hijau yang bernilai $2,303 \times 10^1 \text{ m/s}^2$ dan ketika mencapai belokan pertama (elbow-1) aliran tersebut mengalami peningkatan kecepatan aliran fluida menjadi $4,606 \times 10^1 \text{ m/s}^2$, hal tersebut juga tergambarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Yuniar, Arif N. 2014 mengenai “pemodelan dan verifikasi aliran dua fase (Air-Udara) di belokan 90° (Elbow 90°)” dijelaskan pengaruh perbedaan tersebut karena adanya perubahan pola aliran yang mula-mula laminar menjadi turbulen/olakan yang membentur dinding elbow.



Gambar 4.6 Kontur aliran fluida pipa expansion.

Pola aliran yang muncul pada belokan/elbow berupa seperti gaya sentrifugal yang dimana gaya tersebut berpengaruh pada kecepatan dan tekanan aliran fluida, sehingga akibat itu yang menyebabkan nilai pressure drop pada area elbow lebih tinggi dari pada ketika pipa dalam keadaan lurus secara vertikal maupun horizontal.



Gambar 4.7 Siklus Aliran Fluida Pipa Expansion.

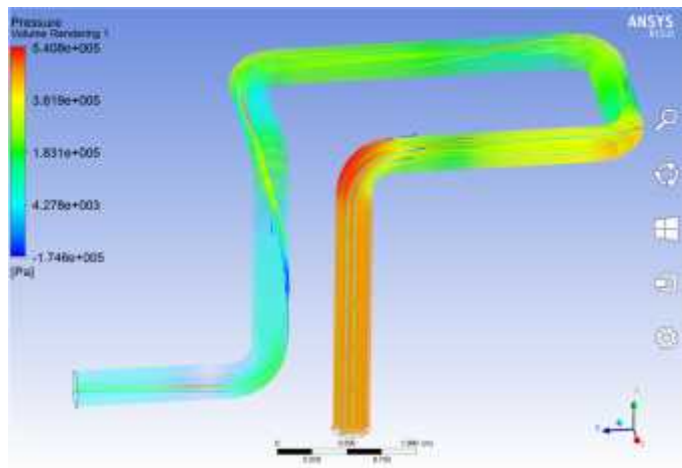
Dapat dilihat pula pada detail gambar 4.7, terlihat bahwa siklus aliran fluida yang bergerak dari *input/inlet* menuju ke elbow (1) terjadi sebuah tubrukan pada dinding bagian atas (radius besar) yang mengakibatkan perubahan aliran yang mula dari inlet linier menjadi turbulen. Gambar diatas juga menunjukkan sebuah kondisi penumpukan / terjadinya olakan fluida.

Wall Pressure

Dari kondisi tersebut yang diakibatkan aliran yang bergerak secara vertikal/lurus ke atas kecepatan pada bidang vertikal yang dapat meningkat dan ketika membentur dinding atas mengakibatkan dorongan/hentakan pada aliran mula. Disamping itu pada bagian yang sama pada gambar 4.8 menunjukkan

peningkatan pressure aliran yang divisualisasikan dengan warna merah yang berarti pada bagian elbow-1 peningkatan nilai pressure yang terjadi adalah 5.408×10^5 PA dari $>3,619 \times 10^5$ PA.

Selain itu dapat dilihat pada detail (2) pada bagian yang sama ketika aliran telah melewati elbow (1) terjadi penurunan kecepatan yang sangat besar (divisualisasikan dengan warna biru). Penurunan kecepatan tersebut terjadi dari fase maksimum menuju fase minimum yang nilai kecepatan tersebut dapat dilihat pada konten kecepatan aliran. Disamping itu pada bagian tersebut mengalami penurunan kecepatan serta perubahan temperatur aliran yang dapat meningkatkan pressure yang divisualisasikan dengan warna merah pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Visualisasi distribusi tekanan fluida pipa expansion.

Dari kondisi yang digambarkan diatas aliran tersebut seakan-akan melakukan dorongan ke atas yang mengakibatkan gerak secara vertikal pada elbow (1). Kondisi tersebut terjadi secara berulang pada setiap elbow yang dilalui fluida, dengan mengalami penurunan secara kontinue hingga pada *outlet* sistem pipa expansion (U-loop). Perlunya diketahui jumlah dan besar perbedaan yang terjadi untuk mengidentifikasi daerah yang

terindikasi sebuah kerusakan akibat dorongan yang terjadi secara terus menerus, apalagi pada penggunaan buka–tutup valve yang salah satu fungsi untuk mengatur besar–kecilnya aliran yang keluar jadi perlu ditambahkan satu fungsi untuk mengontrol umur masa dari suatu bagian agar dapat bekerja secara maksimum.



Gambar 4.10 Grafik perbandingan kecepatan dengan pressure pada bagian elbow

Berdasarkan nilai grafik perbandingan kecepatan aliran dengan pressure di masing-masing elbow didapatkan grafik yang menunjukkan bahwa pada tekanan fluida terbesar terjadi pada elbow 1 yaitu 54.060 Pa dengan kecepatan aliran fluida sekitar 46,49 m/s² dan terjadi penurunan tekanan secara menerus hingga pada elbow no 5 dan terjadi peningkatan tekanan kembali pada elbow no 6, sedangkan kecepatan aliran fluida terjadi secara naik-turun dengan kecepatan terbesar pada elbow no 2 dan 4 sedangkan kecepatan terendah pada elbow no 5. Hal tersebut terjadi karena olakan fluida telah mengalami penurunan dari olakan fluida yang terjadi di elbow no 1.

Pada analisis aliran fluida dengan ANSYS CFX, digunakan beberapa variasi data kecepatan pada inlet dan diperoleh bahwa variasi kecepatan sebagai variasi pada *inlet* adalah berbanding lurus dengan besaran *pressure* yang ditimbulkan oleh fluida.

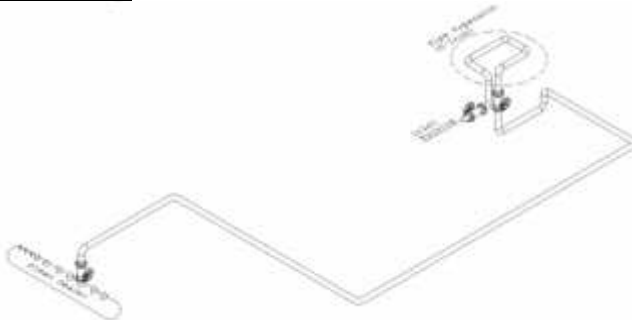
Tabel 4.1. Hasil *fluid pressure* terhadap kecepatan aliran fluida
CFD Fluent

Kecepatan aliran (m/s ²) / Load	Fluid Pressure (MPa)
2,364	1,352 = 8,648
4,728	2,704 = 17,296
8,038	4,967 = 29,033
9,456	5,408 = 34,592

Temperature Difference

Sebagai parameter dalam *set-up* simulasi software *CFD Ansys* untuk besar temperatur fluida yang mengalir pada inlet pipa *expansion (U-loop)* sebesar 410⁰C, dikarenakan tidak adanya pengaruh dari kondisi luar (seperti udara, dll) dan tidak adanya perubahan temperatur ketika pengoprasian equipment dan peralatan *mechanic* yang terhubung pada aliran pipa steam maka untuk keluaran/*output* dari pipa *expansion* diasumsikan sama seperti inlet.

Pressure Drop



Gambar 4.11. Gambar jalur pipa steam dari steam header ke inlet turbine

Untuk perhitungan penurunan tekanan yang terjadi pada instalasi jalur pipa (gambar 4.11) dilakukan dari keluaran steam header ke inlet turbine. Hasil total dari perhitungan penurunan

tekanan adalah sebesar “0,14%” dari tekanan keluar steam header hingga inlet turbine, dan untuk turbine tidak terjadi permasalahan/dalam kondisi aman karena masih dibawah batas maksimal kerja yang diijinkan turbine yaitu 6,3 MpaG (64,2421 Kg/cm²), sehingga tidak akan mengganggu kinerja turbine.

4.3.4. Analisa Statis dengan software AnSYS Static Structure

Aliran fluida merupakan beban yang menyebabkan tekanan yang terjadi didalam pipa (tekanan internal). Reaksi yang ditimbulkan dari aliran fluida tersebut sangat terpengaruh besarnya aliran fluida yang mengalir didalam pipa. Sehingga tegangan yang bersifat statis akibat beban/load internal dapat mempengaruhi suatu kegagalan sistem perpipaan. Dari analisa yang dilakukan dengan software Ansys Static Structure didapatkan pencegahan atau pengidentifikasian awal waktu terjadinya kegagalan.

Berdasarkan hal diatas *Piping Stress Analysis* adalah suatu cara perhitungan tegangan (*stress*) pada pipa yang diakibatkan oleh beban statis yang merupakan efek resultan dari gaya gravitasi, perubahan temperature, tekanan di dalam dan di luar pipa, jumlah debit fluida yang mengalir di dalam pipa dan pengaruh gaya seismic. Dalam perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai *stress analysis*, menggunakan code ASME B31.3 sebagai parameter dasar perhitungan beban yang bekerja pada piping system yaitu Sustain Load dan Expansion Load dengan tujuan akhir diperoleh nilai-nilai beban tersebut harus di bawah *allowable*-nya

Hasil dari *Static Stress Analysis* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2. Hasil Static Stress Analysis
(sumber : ASTM asignation material A 106 Gr B)

Condition Load	Stress Max. (Kpa)	Limit Stress yang diijinkan (Kpa)
Sustain	17.741,88	75.300,00
Occasional	18.900,35	100.149,00

Expansion	48.119,47	223.883,00
-----------	-----------	------------

4.3.5. Analisa LOF Method

Pada bagian yang relatif mengalami intensitas aliran yang cukup tinggi diperlukan untuk melakukan perhitungan secara lebih detail. Dimana kondisi yang dimaksud merupakan bagian yang secara berulang-ulang dilalui aliran fluida yang cukup tinggi mengalami perubahan. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan secara matematis menggunakan dasar untuk mencari nilai parameter yang diijinkan secara code/aturan.

Didalam perhitungan tersebut diperlukan data yang akan diolah dan selanjutnya akan dilakukan analisa untuk menentukan batas aman dari suatu sistem. Sebagai nilai parameter yang telah ditetapkan dan dicantumkan pada teori dasar maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.3. Hasil LOF untuk aliran fluida steam

Kec. Aliran (m/s²)	Fluid Pressure v² (MPa)	LOF	Recomendasi
2,364	8,648	0,11	OK
4,728	17,296	0,21	OK
8,038	29,033	0,32	Review SBC
9,456	34,592	0,42	Review SBC

Berdasarkan nilai kecepatan aliran fluida yang digunakan dengan memvariasikan bukaan katub maka pada kondisi bukaan katub 85% atau dengan kecepatan aliran 8,038 m/s² didapatkan hasil yang diman diharuskan untuk melakukan pengecekan ulang mengenai letak dan jumlah *pipe support* yang digunakan untuk menyangga sistem pipa *expansion (U-loop)*.

Akan tetapi dari hasil perhitungan secara matematis ini, masih pada kondisi aman karena nilai tegangan yang dialami oleh sistem pipa *expansion (U-loop)* masih dalam batas bawah yang diijinkan. Maka untuk selanjutnya proses tersebut dilakukan perhitungan lanjutan/pengolahan data untuk memeriksa dan

memastikan tekanan yang berkerja tidak akan mengakibatkan kegagalan sistem yang digunakan.

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka pada instalasi pipa expansion perlu diberikan pipe support agar vibrasi yang terjadi akibat aliran fluida tidak menyebabkan kerusakan/kelelahan terhadap batas maksimum material pipa.

4.3.6. Analisa Dinamis SBC (Ansys Multiphysic)

4.3.6.1. Analisa Allowable Pressure

Hasil output dari ANSYS adalah berupa tegangan *von Mises/equivalent stress*. Struktur akan dinyatakan masih dalam keadaan aman terhadap vibrasi jika nilai tegangan *von Mises* masih dibawah nilai tegangan maksimal yang masih diijinkan oleh struktur tersebut (*allowable pressure*). *Allowable pressure* dapat dihitung dengan menggunakan rumus *Wall Thickness Calculation* dalam *ASME B31.3 Process Piping*, yaitu:

$$t = t_c + t_{th} + \left(\frac{P D}{2 (S E + P Y)} \right) \left(\frac{100}{100 - Tol} \right) \quad (19)$$

dimana ;

- t : Tebal pipa actual, inches
- t_c : Corrosion allowance, inches
- t_{th} : thread atau kedalaman groove, inches
- P : internal pressure, psi
- D : Outside diameter, inches
- S : SMYS material, psi
- E : Longitudinal weld joint factor
- Y : 0.4 for material below 900°F
- Tol : Manufacturer's allowed tolerance
12.5% for diameter up to 20 inches
10% for diameter greater than 20 inches

Pada dasarnya rumus ini digunakan untuk mencari ketebalan pipa yang sesuai untuk *design pressure* yang telah ditentukan. Akan tetapi sekarang kondisinya kita balik, kita menggunakan rumus tersebut untuk mencari berapa *maksimal pressure* yang diijinkan pada kondisi propertis pipa *ASTM A 106 Gr B*.

Dari data properti pipa *ASTM A 106 Gr B* diperoleh bahwa:

t : 0,432 inches (*schedule 80*)
 tc : 0 inches *tth* : 0,11 inches
 D : 10 inches
 S : 30.000 psi (*A106B / TP321*)
 E : 1,00 (*seamless pipe*)
 Y : 0.4 for material below 900°F
 Tol : 12.5% for diameter up to 20 inches

Sehingga, diperoleh maksimal nilai internal pressure yang bisa diterima pipa dengan spesifikasi diatas adalah 6.140 psi atau setara 423,0 bar atau 42,30 Mpa.

4.3.6.2. Analisa Tegangan Von Misses

Untuk analisa kekuatan pipa terutama pada daerah Small Bore Connection (SBC) digunakan satu model struktur dengan variasi lima input beban pressure yang berbeda sesuai dengan hasil output ANSYS *Static Structure* atau seperti pada Tabel 4.4 dan dari hasil output didapatkan bahwa tegangan von Mises maksimum terjadi tetapi masih dalam batas yang diijinkan (42,30 Mpa), maka untuk keseluruhan kecepatan dengan variasi bukaan katub masih berada pada kondisi aman/tidak melebihi batas maksimum tegangan yang diijinkan yaitu 42,3 Mpa.

Tabel 4.4. Hasil Tegangan Von Misses untuk flowline steam

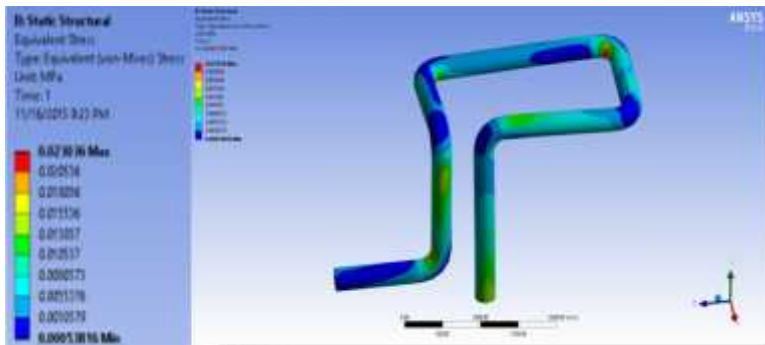
Kec. Aliran (m/s ²)	Fluid Pressure v ² (MPa)	Von Misses Max. (Mpa)	Allowable Pressure (Mpa)
2,364	8,648	17,078	42,3
4,728	17,296	20,324	
8,038	29,033	22,410	
9,456	34,592	23,124	

Untuk kecepatan aliran fluida yang dioprasikan masih jauh dibawah batas maksimum. Akan tetapi untuk menjaga umur kelelahan yang terjadi pada material maka dalam oprasional/distribusi aliran yang pada kondisi ini diatur oleh

katub pada inlet sistem pipe expansion (U-loop) tetap harus memenuhi standart operasional yang telah diatur oleh code/regulasi yang berlaku untuk mengurangi/mencegah adanya kegagalan sistem dan dampak yang lebih buruk lagi.

Hasil simulasi yang telah dilakukan pada software Ansys *Static Structure* didapatkan nilai batas maksimum dan batas minimum tegangan yang terjadi akibat adanya aliran fluida atau pengaruh yang lain.

Pada gambar 4.8 menunjukkan hasil visualisasi dari simulasi nilai *equivalent stress* dengan maksimum $0,023036 \times 10^3$ Mpa dan minimum $0,00053896 \times 10^4$ Mpa. Tegangan yang disimulasikan masih jauh dibawah batas maksimum yang diijinkan/*allowable pressure* yang sebesar 42,30 Mpa. Dimana nilai maksimum sering terjadi/diterima pada bagian dalam elbow. Hala tersebut perlu ditandai untuk mengatisipasi kemungkinan-kemungkinan yang terjadi. Meskipun nilai tegangan yang terjadi relatif kecil, akan tetapi proses terjadinya tegangan tersebut berulang secara tidak beraturan. Hal tersebut perlu dilakukan sistem kontrol secara visual gerak tegangan yang terjadi ketika proses aliran fluida sedang berlangsung. Proses tersebut dimaksudkan untuk menjaga dan mengamati secara data *record* perubahan yang terjadi.

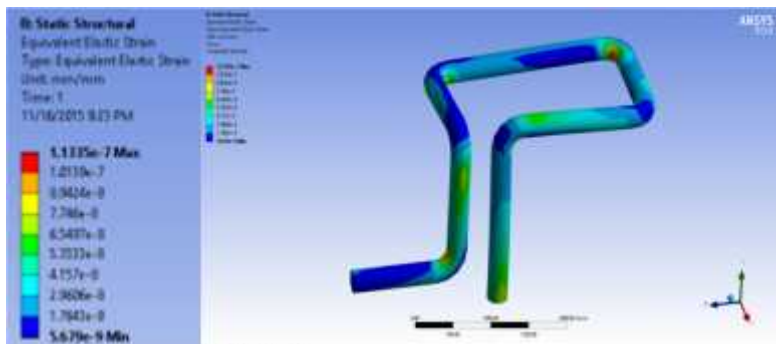


Gambar 4.8. Visualisasi *equivalent stress*

Pengaruh perubahan yang secara berulang dapat menjadikan dampak yang cukup membahayakan untuk sistem maupun teknisi yang sedang berada di area kerja. Dapat dilihat pula pada gambar 4.9 dimana disimulasikan regangan yang terjadi di sistem pipa *expansion (U-loop)*. Didapatkan nilai regangan maksimum adalah $1,1335 \times 10^{-7}$ mm/mm dan minimum regangan adalah $5,679 \times 10^{-9}$ mm/mm. Kondisi regangan tersebut tepat berada pada posisi yang mengalami tegangan terbesar yaitu di bagian elbow terdalam dengan ditandai warna merah.

Dimana kondisi terjadinya tegangan dan regangan dengan nilai maksimum maka perlu dilakukan monitoring secara berkala guna untuk mengetahui perubahan-perubahan yang terjadi. Disamping itu pula pengaruh penempatan titik pipe support yang berfungsi sebagai penyangga sistem pipa *expansion (U-loop)*. Karena penempatan titik pipe support juga merupakan parameter dimana distribusi tegangan secara merata agar pengaruh tegangan serta regangan yang diterima tidak membebani pada titik/bagian tertentu.

Apabila hal tersebut terjadi maka potensi kegagalan dalam sistem akan semakin tinggi sehingga berdampak pada integritas seluruh sistem perpipaan yang digunakan.

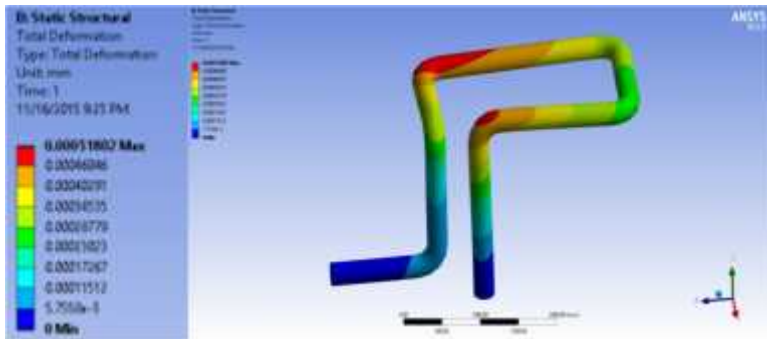


Gambar 4.9. Visualisasi *equivalent stress strain*

Perubahan bentuk atau yang sering disebut deformasi material merupakan juga hala yang perlu dilakukan analisa. Pada

simulasi yang dilakukan dengan bantuan software *Ansys static structure* dapat diketahui pula proses dan simulasi pergerakan deformasi yang terjadi.

Pada gambar 4.10 dapat dilihat visualisasi nilai *total deformation* yang terjadi. Nilai *total deformation* yang diterima pada sistem pipa *expansion* (*U-loop*) ketika adanya distribusi aliran fluida paling besar adalah 0,00051802 mm dengan divisualisasikan menggunakan warna merah yang menandakan pada posisi tersebut merupakan titik yang mengalami perubahan bentuk yang paling besar. Hal tersebut sangat dipengaruhi letak pipa support/penumpu sehingga bagian bebas (cenderung terletak ditengah) adalah tempat yang mengalami deformasi yang paling tinggi. Pada bagian penumpu fleksibel/bergerak nilai deformasi yang diterima adalah sebesar 0,00023023 mm, Sedangkan pada ujung penumpu tetap merupakan tempat yang tidak mengalami deformasi.



Gambar 4.10. Visualisasi *total deformation*

Kondisi tersebut perlu digambarkan untuk mengetahui batasan pengaruh deformasi dapat merubah bentuk geometry yang telah direncanakan.

Dengan mengetahui distribusi aliran fluida maka diharapkan kondisi-kondisi yang dapat berpengaruh terhadap kinerja sistem perpipaan khususnya pada sistem pipa *expansion* (*U-loop*) dapat ditingkatkan secara maksimum dengan

mengetahui batas-batas minimum yang diijinkan serta seluruh komponen peralatan dapat bekerja dapat dimonitor secara berkala dengan meminimalkan kegagalan yang tidak diinginkan.

*** *Halaman ini sengaja dikosongkan* ***

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Terjadi penurunan tekanan (*pressure-drop*) sebesar "3%" atau **1,36 kg/cm²** dari **40 kg/cm²** yang disebabkan pipa expansion (U-loop) dan masih dalam kondisi aman untuk sistem kerja turbine.
- Besar kecepatan aliran fluida **berbanding lurus** dengan besar pressure yang terjadi.
- Terjadi perbedaan tekanan dan kecepatan aliran fluida pada instalasi pipa expansion (U-loop) dengan min. press. : **-1,746 x 10⁵ Pa**, max. press sebesar : **5,408x10⁵ Pa**, sedangkan kec. rata2 *velocity* : **4,729x10² m/s²**, max. *velocity* sebesar : **9,458x10² m/s²**.
- Kekuatan pipa maksimal secara dinamis yang masih diijinkan akibat beban pressure dari fluida yang mengalir adalah 42,3 Mpa.

6.2. Saran

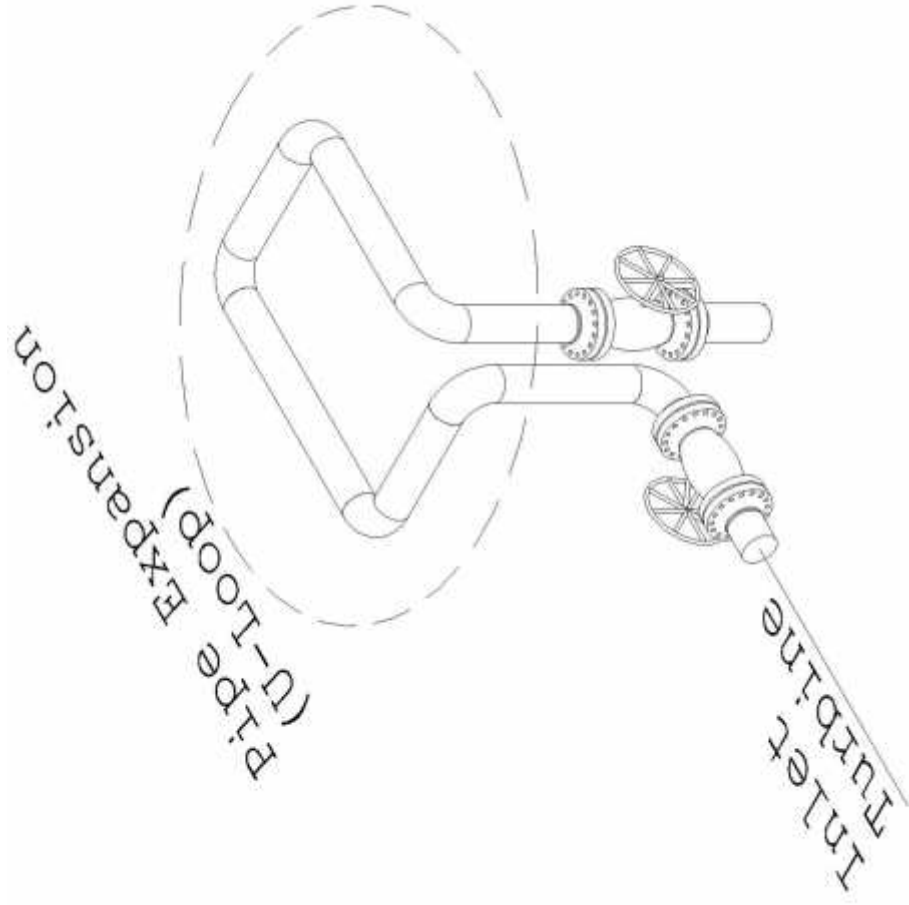
Beberapa hal yang dapat disarankan pada akhir dari penelitian ini adalah:

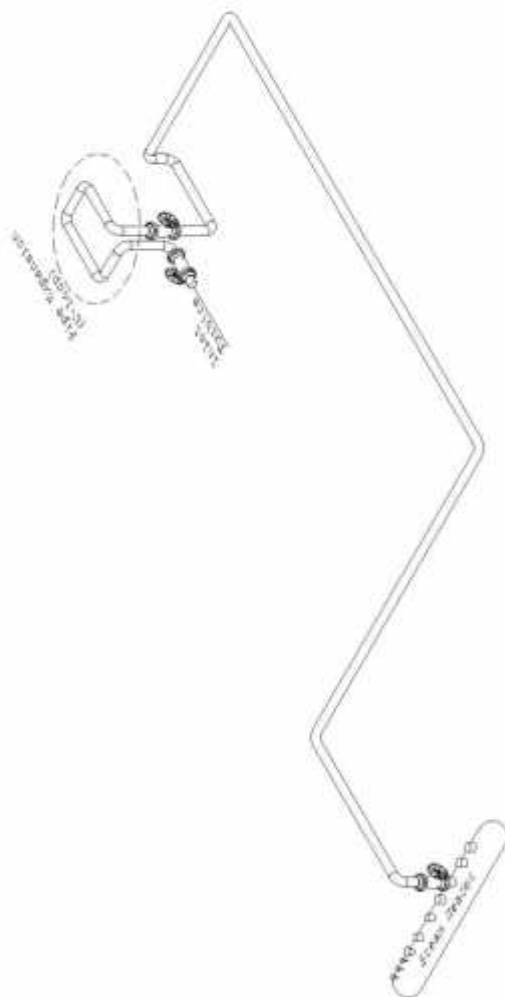
- Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh yang dapat mengakibatkan getaran, selain akibat aliran fluida. kemungkinan adanya sistem lain.
- Diperlukan monitoring sistem terhadap terjadinya getaran pada pipa agar dapat menentukan life-time dari sistem lebih detail.
- Pada hasil penelitian terjadi perbedaan kecepatan yang tinggi pada suatu daerah sistem pipa expansion (U-loop), sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap pengeruh tersebut.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

DAFTAR PUSTAKA

- Ridwan, [2002] **“Analisa Aliran Vortex Pada Pembesaran Saluran Pipa Dengan Teknologi Computational Fluid Dynamics (CFD)”**, Auditorium Universitas Gunadarma – Jakarta
- Zainudin, [2012] **“ Analisa Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap *Head Losses* Aliran Pipa”**, Universitas Mataram
- Priana, W. Negara, [2007] **“Perbandingan Analisis Pressure Drop Pada Pipa Lengkung 90° Standar ANSI B36.10 Dengan Cosmosfloworks 2007”**, Universitas Gunadarma
- Santoso, [2011] **“Analisa Tegangan Pipa Dengan Bahan Pipa Non Metalik Dalam Sistem Pemipaan”** Tangerang Selatan
- Dahlan, Achmad, [2010] **“*Analysis Pipe Expansion Loop Use The System Circulation Pipe Steam PLTP Ulumbu*”**.
- Ilmi. Imanul, [2014] **“Perancangan Dan Analisa Tegangan Jalur Perpipaan Dengan Variasi Diameter, Temperatur Dan Tekanan (Studi Kasus Jalur Perpipaan Lpg Pertamina Cilacap)”**, Perputakaan Pusat UGM – Yogyakarta
- Sugiono, Ari, [2010] **“Perencanaan sistem pemipaan dari back pressure vessel (BPV) ke Unit Proses pada PT. Inti Karya Plasma Perkasa kab. Kampar”**, Pekanbaru
- McDonough, J.M., [2009] **“*Lecture in elementary fluid dynamics*”** University of Kentucky-Lexington
- American Society of Mechanical Engineers code B31.1 Power Piping [2008]
- Yunizar, Arif Nugraha, [2014] **“pemodelan dan verifikasi aliran dua fase (air-udara) di belokan 90°”**.Universitas Brawijaya – Malang.





Data Spesifikasi Pipa

- Material = Seamless Carbon Steel
- Press. Rating/Class = ASTM A106 gr B/600#
- NPS/Sch. = 10" (OD. 273mm)/ Sch.80
- Design Press. = 10 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
- Design Temp. = 450 $^{\circ}\text{C}$
- Specified Minimum Yield Strength (SMYS) = max. 35.000 (refer to ASME App. IID)
- Specified Minimum Tension Strength (SMTS) = max. 60.000 (refer to ASME App. IID)
- Young's modulus = 207 Gpa
- Poisson's ratio = 0,3
- Thermal Expansion Coefficient = $11.7 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- Fluid service = Steam/Vapour Water
- Density = 5,498 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (at 450 $^{\circ}\text{C}$)

Menentukan Nilai Bilangan *Reynolds*

Parameter jenis aliran fluida

- Aliran laminar Re < 2100
- Aliran turbulen Re > 4000

$$\text{Re} = \frac{\rho U D}{\mu}$$

$$= 8.547,2 \rightarrow \text{turbulen}$$

dimana ;

$$U = 93 \text{ m/s} ; \text{kec. rata-rata aliran}$$

$$D = 0,27 \text{ m} ; \text{diameter pipa 10"}$$

$$= 5,50 \text{ kg/m}^3 ; \text{massa jenis fluida}$$

$$\mu = 0,02 \text{ N s/m}^2 ; \text{viscositas dinamik}$$

$$\nu = 9,764 \text{ m}^2/\text{s} ; \text{viscositas kinematik}$$

kec. rata-rata aliran fluida (keluar)

$$m^1 = m^2$$

$$\rho^1 A^1 v^1 = \rho^2 A^2 v^2$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{steam}} &= 40.000 \text{ kg/jam} \\ &= 666,67 \text{ kg/mnt} \\ &= 11,11 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Perhitungan viscosity di amis fluida berdasarkan "Sutherland's formula" (Crane, 1988) :

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{a}{b} \right) \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{2+2a/b}{1+a/b}} ; \quad \begin{aligned} a &= 0,555 T_0 + C \\ b &= 0,555 T + C \end{aligned}$$

dimana,

- μ = ; viscosity at input temp., cp
- μ_0 = ; refer viscosity at refer temp., cp
- T = : input temp..⁰ Rankine
- T_0 = : reference temp..⁰ Rankine
- C = ; sutherland's contant

	<i>Sutherderland's constant, C</i>	<i>T₀ (⁰R)</i>	<i>μ₀ (centipoise)</i>
<i>Standard air</i>	120	524,07	0,018
<i>Ammonia, NH₃</i>	370	527,67	0,010
<i>Carbon dioxide, CO₂</i>	240	527,67	0,015
<i>Carbon monoxide, CO</i>	118	518,67	0,017
<i>Hydrogen, H₂</i>	72	528,93	0,009
<i>Nitrogen, N₂</i>	111	540,99	0,018
<i>Oxygen, O₂</i>	127	526,05	0,020
<i>Sulfur dioxide, SO₂</i>	416	528,57	0,013

<i>T (⁰R)</i>	<i>T₀ (⁰R)</i>	<i>C</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>μ₀</i>	<i>μ</i>
1301,67	524,07	120	410,86	842,43	0,018	0,0163

Analisa Aliran pipa

menurut (ING, Wardhana, 2000:218) persamaan dalam menentukan

kecepatan kritis sebuah aliran pipa adalah :

$$V_c = \frac{\pi}{L} \left(\frac{EI}{\rho A} \right)^{0.5}$$

dimana ;

$$\begin{aligned} V_c &= 93,06 \text{ ; kecepatan kritis fluida, m/s} \\ L &= 2,17 \text{ ; panjang pipa, m} \\ E &= 62700 \text{ ; modulus elastisitas pipa. N/m}^2 \\ I &= 1,89 \text{ ; inersia pipa. m}^4 \\ &= m * R^2 \text{ ; } m = 207,4 \text{ kg ; } R^2 = 0,10 \text{ m} \\ A &= 0,19 \text{ ; luas penampang pipa (ID). m}^2 \\ &= 5,50 \text{ ; massa jenis fluida. kg/m}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai Vibration number (Fv)

Vibration number \approx Frekuensi natural (dalam pipa)

$$F_v = \frac{C}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{M}}$$

dimana ;

$$\begin{aligned} F_v &= 82,18 \text{ ; Vibration number (Frekuensi natural)} \\ EI &= 46.247,52 \text{ ; kekakuan pipa (stiffness). lbs-ft}^2 \\ L &= 16,18 \text{ ; panjang bentangan bebas pipa, ft} \\ M &= 0,00 \text{ ; kombinasi massa pipa dan massa tambah disekitar} \\ &\text{pipa persatuan panjang, slug/ft} \\ C &= 3,50 \text{ ; konstanta yang tergantung dari kondisi ujung} \\ &\text{bentangan bebas pipa} \\ &\text{; } C = 1,57 \text{ ; ujung tumpuan berbentuk sederhana} \\ &\text{; } C = 3,5 \text{ ; ujung tumpuan berbentuk klem} \end{aligned}$$

Analisa metode Likelihood of Failure (LOF)

Adapun parameter yang diijinkan antara lain :

- $LOF \geq 0,5$; Tambah tumpuan/re-desain pipa
- $0,5 > LOF \geq 0,3$; Pipa utama aman tapi perlu analisa SBC
- $LOF < 0,3$; Pipa utama dan SBC aman

$$\begin{aligned} LOF &= \frac{\rho v^2}{F_v} \\ &= \frac{524,1557}{82,2} = 2,1E+06 \end{aligned}$$

dimana ;

$$\begin{aligned} &= 5,50 \text{ kg/m}^3 \text{ ; massa jenis fluida} \\ v &= 9,76 \text{ m}^2/\text{s} \text{ ; viscositas kinematik} \end{aligned}$$

Fv = 82,2 ; vibration number

Flowrates (m/s ²)	Fluid Pressure ρv^2 (Pa)	LOF	Recomendasi
2,364	8,65	0,11	OK
4,728	17,30	0,21	OK
8,038	29,03	0,35	Review SBC
9,456	34,59	0,42	Review SBC

Analisa Dinamis Small Bore Connection (SBC)

Perhitungan Allowable Pressure

$$t = t_c + t_{th} + \left(\frac{P D}{2 (S E + P Y)} \right) \left(\frac{100}{100 - Tol} \right)$$

dimana ;

- t = 0,59 ; tebal pipa actual, in
- t = 15,08 ; tebal pipa actual, mm
- t_c = 0,06 ; Corroton Allowance, in
- t_{th} = 0,08 ; thread atau kedalaman groove, in
- D = 10,75 ; Outside dia. , in
- S = 34.809 ; SMYS material, psi
- E = 1 ; Longitudinal weld joint factor
- Y = 0,4 ; 0,4 for material below 900 ° F
- Tol = 12,5% ; Manufacturer's allowed tolerance
12,5 % for dia. Up to 20 in
10 % for dia. greater than 20 in

dari hasil output Ansys berupa tegangan Von missess (merupakan batas tegangan yang masih diijinkan) adalah

- = 6.140 psi
- = 423,0 Bar
- = 42,30 Mpa



Calculation Pressure Drop

Steam Header - Pipe Expansion (U-loop) - Inlet Turbine

Steam Flowrate	=	40.000,00	kg/hr
Pipe OD	=	273,00	mm
Pipe Thickness	=	15,06	mm
Pipe Number	=	1	set
Pipe Length	=	76.670,0	mm
Elbow number	=	13	pcs
Valve number	=	3	pcs
Elevation inlet	=	800,00	mm
Elevation Outlet	=	3.560,00	mm

Temperature	=	410,00	°C
	=	770,00	°F

Pipe Height Outlet	=	800,00	mm	=	0,80	m
Elevation (Thf1)	=	31,50	in	=	2,62	ft

Pipe Height Outlet	=	3.560,00	mm	=	3,56	m
Elevation (Thf2)	=	140,16	in	=	11,68	ft

Pipe Length (Tlr)	=	76.670,00	mm	=	76,67	m
	=	3.018,50	in	=	251,54	ft

Pipe number (Tn)	=	1,00	pcs
------------------	---	------	-----

Pipe Outside Dia.	=	273,00	mm
(Todf)	=	10,75	in

Pipe Thickness (Ttr)	=	15,06	mm
	=	0,59	in

$$\begin{aligned}\text{Steam Flowrate (Sfr)} &= 40.000,00 \text{ kg/hr} \\ &= 88.200,00 \text{ lb/hr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Flow Area (a')} &= 71,81 \text{ in}^2 \\ a_f &= \frac{T_{nf} a'_f}{144} = 0,50 \text{ ft}^2 \\ &= 0,05 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$G_f = W_{fr} / a_f = 176.858,2 \text{ lb/hr ft}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Viscosity } (\mu) &= 0,02 \text{ cp} \\ &= 0,06 \text{ lb/ft hr}\end{aligned}$$

$$\text{Inside Dia. EQ (Df)} = 0,80 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}\text{Reynold Number (Re)} &= 2.426.472 \rightarrow \text{turbulen} \\ \text{Re}_f &= \frac{D_f G_f}{\mu}\end{aligned}$$

$$\text{Koef. Friction (f)} = 0,00006 \text{ ft}^2/\text{in}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Specify Gravity (Sf)} &= 0,005 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Density (} \rho) &= 0,344 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pressure Drop} &= 2,1490 \text{ psi} \\ \text{Straight Pipe} &= 0,1511 \text{ kg/cm}^2 ; \Delta P_f = \frac{f G_t^2 T l f}{5.22 \times 10^{10} D_f s_f} \\ &= 0,14817 \text{ Bar}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Max. Allowable} \\ \text{Velocity} &= 2,00 \text{ m/s} \\ &(\text{refer to Book III 4.6.1.1.1. page 4.6.1-2 add 54})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Velocity (Vf)} &= 142,97 \text{ fps} \\ &= 43,58 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\text{Friction Elbow (hf1)} = 1.424,19 \text{ j/kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Pressure Drop (pr)} &= 0,88 \text{ Bar} \\ \text{Elbow} &= 8.843,43 \text{ mmAq}\end{aligned}$$

$$\text{Friction Valve (hf2)} = 1.709,02 \text{ j/kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Pressure Drop (pr)} &= 0,24 \text{ Bar} \\ \text{Elbow} &= 2.448,95 \text{ mmAq}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Contraction} &= 0,50 \\ \text{ } &= \left(\frac{A_{inlet}}{A_{outlet}} \right)\end{aligned}$$

$$K = 0.5 \left(1 - \frac{V_{Outlet}}{A_{Inlet}} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{Pressure Drop (pc)} &= 7.830,178 \text{ pa} \\ &= 0,078 \text{ Bar} \quad P_c = \frac{\rho V_{Outlet}^2}{2} + K \frac{\rho V_{Outlet}^2}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pressure Drop} &= 0,02 \text{ psi} \\ \text{Elevation} &= 0,002 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 0,001 \text{ Bar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Pressure Drop} &= 1,36 \text{ Bar} \\ &= 13.571,97 \text{ mmAq} \\ &= 1,384 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

*) jadi Pressure inlet yang masuk ke dalam turbine adalah

$$\begin{aligned} &= 10 - 1,36 \\ &= 8,64 \text{ Bar (setelah terjadi pressure drop)} \\ &= 13,57\% \quad (\text{akibat adanya sistem Pipe Expansion (U-loop)}) \end{aligned}$$

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Solo, 13 Agustus 1990, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Mufidah Sidoarjo, MI Mufidah Sidoarjo, SMP Kartini Sidoarjo, SMK YPM 1 Sidoarjo dan D-3 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Setelah lulus dari D-3 jurusan perancangan dan kontruksi kapal tahun 2011, penulis bekerja di perusahaan bidang kontruksi baja & *mechinery system* dan melanjutkan untuk studi tingkat Strata-1 dan diterima di jurusan Teknik Sistem

Perkapalan FTK-ITS pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP. 4213106017.

Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ini penulis mengambil bidang studi *Mechinery and System (MMS)*. Selama studi penulis sempat aktif diberperap kegiatan pelatihan yang diselenggarakan oleh jurusan, Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan, maupun organisasi yang ada di kampus ITS.